



## СПОСОБЫ ВВОДА СИГНАЛА В ВЫСОКОВОЛЬТНУЮ СЕТЬ И СОГЛАСОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

<sup>1</sup>Шайматов Б.Х.,  
<sup>2</sup>Холмуродов М.Б.,  
<sup>3</sup>Хожиев Қ.Б.,  
<sup>4</sup>Абдувалиев Б.З.,  
<sup>5</sup>Мизамов Ю.С

Бухарский инженерно-технологический институт  
Навоинский государственный горный институт  
<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.7780178>

### ARTICLE INFO

Received: 21<sup>th</sup> March 2023

Accepted: 28<sup>th</sup> March 2023

Online: 29<sup>th</sup> March 2023

### KEY WORDS

Система, последовательная, обмотка, магнитный поток, колебания, частота, гармоники, трансформатор, полупроводник, возбуждение, параметр, амплитуда, цепь, ток, автопараметрическое, напряжение, источник, контур, нелинейность, уравнение.

### ABSTRACT

В данной статье рассматривается ввод сигнала в высоковольтную сеть при формировании низкочастотных токов в ферромагнитных колебательных контурах. Рассмотрены частоты гармоники амплитуды второго порядка мягкого возбуждение при параллельно и последовательном соединении многоконтурных феррорезонансных цепей. Каждая из схем проанализирована, и учитывая промышленное применение преобразователей частоты, дает возможность для дальнейших исследований по производству преобразователей частоты.

Чтобы рассмотреть вопросы развития технических процессов возникшие субгармонические колебания (СГК) поддерживаются, при поступлении от источника более высокой частоты порций энергии периодического изменения параметра ферромагнитного элемента под воздействием источника с частотой в два раза большей частоты выходного напряжения. Для этого первичная обмотка предлагаемые трансформатора служит только для периодического изменения нелинейного параметра, которое совершается наиболее интенсивно, когда колебательные контур настроен на половинную частоту источника питания и создается наилучшая возможность для поддержания и усиления колебаний, возникших в контуре на частоте СГК и периодически покрывая активные потери, препятствующие нарастанию амплитуды СГК.

В системах телесигнализации (ТС) передаваемый сигнал обычно вводится в высоковольтную сеть одним из двух способов: параллельным (рис-1а) или последовательным (рис-2а.). И в том и в другом случаях, ввод сигнала в высоковольтную сеть осуществляется с помощью трансформаторов связи TV а для защиты передающих устройств (ПУ) от воздействия токов промышленной частоты, применяют заградительные фильтры типа LC. На рис-1б и рис-2б приведены схемы замещения для параллельного и последовательного вводов сигнала в высоковольтную сеть [1,2,3,9,10].

Для выбора одного из способов, наиболее целесообразным представляется исследование этого вопроса с точки зрения сопоставления соответствия величин полезной мощности ПУ отдаваемая на частоте сигнала в высоковольтную сеть три параллельном и последовательном способах [1,20,21,22].

На приведенной схеме замещения рис-1б при параллельном вводе сигнала в сеть  $Z_n$ -представляет собой общее сопротивление нагрузки, приведенной к шинам силового трансформатора Т;  $X_t$  - реактивное сопротивление рассеивания силового трансформатора Т, к шинам которого присоединены через трансформатор связи TV заградительные фильтры LC ПУ.  $Z_n$ -суммарное сопротивление устройств присоединения ПУ к высоковольтной сети, включающее в себя сопротивление заградительного фильтра LC и трансформатора связи TV,  $e_c$  - ЭДС сигнала индуктированы в первичных обмотках трансформатора связи TV, при подключении ПУ к его вторичным обмоткам.

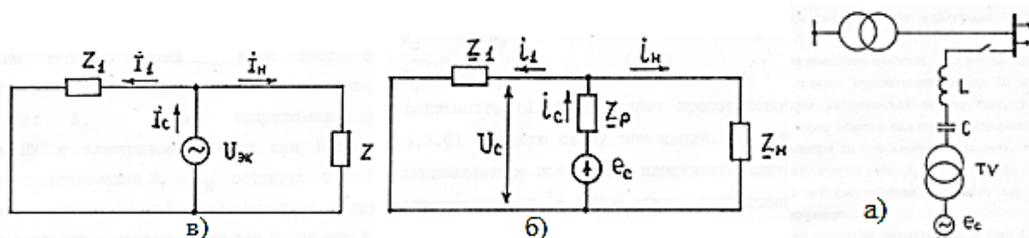


Рис-1

Из схемы замещения, очевидно, что ток на частоте сигнала  $i_c$  протекающий через заградительный фильтр LC и трансформатора связи TV будет разветвляться на два тока, т.е. на ток  $i_1$ , протекающий через обмотки силового трансформатора Т и ток  $i_n$ , распространяющийся на всю электрическую сеть. Однако, полезным током следует считать ток  $i_n$ , т.к. именно этот ток будет выявляться с помощью приемных устройств, как несущий в себе некоторую информацию [5,7,23,24].

Определим отношение напряжения  $U_c$  к току  $i_c$ , т.е.

$$\frac{U_c}{i_c} = \frac{Z_1 \cdot Z_n}{Z_1 + Z_n} \quad (1)$$

Найденная зависимость (1) позволяет преобразовать схему замещения (рис-1б) в новую схему замещения, представленную на рис-1в с эквивалентным источником напряжения сигнала  $U_{экв}$  в которой уже сопротивление  $Z_p$  и ЭДС  $e_c$  будут отсутствовать.

Рассмотрим теперь последовательный ввод сигнала в высоковольтную сеть и его схему замещения, приведенную на рис-2б.



где:  $Z_s$ - сумма сопротивлений устройств присоединения ПУ к электрической сети при последовательном вводе сигнала, сопротивления  $Z_1$ , и  $Z_H$  остаются без изменения.

Определив из схемы замещения значения тока  $i_c$  и напряжения  $U_c$ , и напряжение сигнала  $U_c$ , и разделив напряжение сигнала  $U_c$  на ток  $i_c$  получим

$$\frac{U_c}{i_c} = Z_1 + Z_H \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что его правая часть не содержит сопротивления  $Z_p$  и ЭДС  $e_c$  и поэтому, схему замещения на (рис-2б) можно преобразовать в схему замещения с эквивалентным источником напряжения  $U_{эkv}$  (рис-2в).

Таким образом, зная эквивалентные напряжения  $U_{эkv}$  легко вывести соотношения полезных мощностей между параллельным и последовательным вводами сигнала в высоковольтную сеть.

Для параллельного ввода сигнала (рис-1в) имеем

$$S_p = I_H^2 \frac{Z_H}{Z_1} \cdot (Z_1 + Z_H) \quad (3)$$

Согласно схеме замещения на (рис-2в) при последовательном вводе, полезная мощность  $S_s$ , также отдаваемая ПУ в высоковольтную сеть на частоте сигнала будут равна

$$S_s = U_{эkv} I_H = I_H^2 (Z_1 + Z_H) \quad (4)$$

Если разделим выражение (4) на выражение (3). то получим:

$$\frac{S_s}{S_p} = \left| \frac{Z_1}{Z_H} \right| \quad (5)$$

Для дальнейшего преобразования правой части в формуле (5), выразим реактанс рассеяния силового трансформатора  $Z_1$  и общее сопротивление нагрузки  $Z_H$  в следующем виде

$$Z_1 = j \frac{f_c}{f} X_T; \quad Z_H = R_H + j \frac{f_c}{f} X_H,$$

Где,  $f$  - промышленная частота сети;

$f_c$  - частота сигнала, на которой ведутся передачи информации;

$X_T$  - индуктивное сопротивление рассеяния силового трансформатора;

$R_H$  - активное составляющее сопротивление нагрузки;

$X_H$  - индуктивное составляющее сопротивления нагрузки;

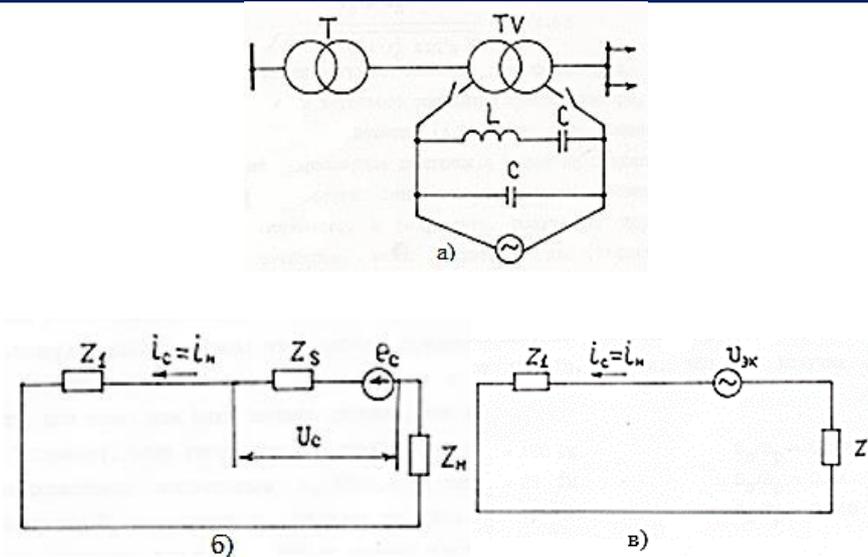


Рис-2

После некоторых преобразований получим:

$$\frac{S_B}{S_P} = \frac{f_c \cdot \beta \cdot U_K}{\sqrt{f^2 \cdot \cos^2 \varphi + f_c^2 \sin^2 \varphi}} \quad (6)$$

где,  $\beta$  - коэффициент загрузки силового трансформатора;

$U_K$  - напряжение короткого замыкания трансформатора.

Из полученного соотношения (6) видно, что правая часть её содержит все безразмерные величины и в неё не входят такие параметры высоковольтной сети как напряжение, номинальная мощность трансформатора. В результате, полученную формулу с достаточной точностью можно считать, какобщую для рассматриваемых высоковольтных сетей. Исходя из выражения (6) и для полезных мощностей последовательного и параллельных способов ввода, нетрудно сделать вывод: что наиболее предпочтительной схемой является последовательный ввод сигнала в высоковольтную сеть, при этом, чем ниже частота сигнала, тем лучше её показатели. К примеру, если учесть, что для трехфазных двух обмоточных трансформаторов напряжением 6, 10/0,4 кВ напряжение короткого замыкания  $U_K$  находится в пределах от 4,5 и 5,5 % и приняв среднее значения для величин  $\beta=0,8$ ;  $\cos\varphi =0,9$  и  $U_K=0,05$ , то для

частот  $16\frac{2}{3}$  Гц, 25 Гц, 150 Гц, получим следующие соотношения:

При  $f_c = 150 Гц$   $\frac{S_s}{S_p} = 0,086$

При  $f_c = 25 Гц$   $\frac{S_s}{S_p} = 0,04$

При  $f_c = 16\frac{2}{3} Гц$   $\frac{S_s}{S_p} = 0,018$

Таким образом, проведенные расчеты показывают, что на частоте сигнала, например, 25 Гц, мощность последовательной схемы составляет всего 4 % мощности



параллельной схемы. При этом очевидно, что с уменьшением частоты, процентное соотношение выражения  $S_s/S_p$  значительно уменьшается.

Основной задачей при разработке систем ТУ и ТС по ЛЭП является выбор рабочей частоты, которая определяется следующими основными факторами:

- зависимостью потерь напряжения сигнала от частоты на участках линии между передающими и приемными устройствами;
- уровнем гармонических помех распределительной сети наибольшие значения,

которых не должны превышать  $0,05 - 0,5$  кГц.

С учетом вышесказанного, полученное выражение (6) дает основу для разработки системы ТС на частотах ниже стандартной при последовательном вводе сигнала в распределительную сеть.

В условиях эксплуатации феррорезонансные преобразователи частоты (ФПЧ) в системах ТС в качестве ПУ возникает необходимость согласования с высоковольтной сетью.

Для этого надо отметить, что в соответствии с Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) электрические сети напряжением 35 кВ должны работать в режиме изолированной или заземленной через дугогасящий реактор (ДГР) нейтралью [6,7,25,32]. Компенсация емкостного тока замыкания на землю применяется в случае, если они превышают установленные нормы для каждого уровня напряжения.

В условиях изолированной нейтрали при последовательном вводе сигнала в распределительную сеть, наиболее целесообразным, как с экономической точки зрения, так и простоты реализации системы ТС, является принцип передачи сигналов по цепи нулевой последовательности.

В основе принципа передачи сигнала по цепи нулевой последовательности, предусматривается наложение тока нулевой последовательности с частотой сигнала на 3-х фазную систему рабочих токов в ЛЭП промышленной частоты и циркуляция их по пути трехфазных проводов - земля.

Для получения цепи нулевой последовательности, как правило, между нейтралью питающей сети и землей включают трансформаторы связи.

Таким образом, цепь нулевой последовательности при организации системы ТС приобретают назначение канала связи, поэтому в технической литературе чаще ее именуют каналом нулевой последовательности (КНП).

Вышесказанные трансформаторы связи обычно специально разрабатываются для цепей систем ТУ и ТС и являются не только устройствами ввода сигнала в электрическую сеть, но и одновременно согласующим элементом ПУ с высоковольтной сетью.

Применение специальных трансформаторов связи несколько удорожает разрабатываемые системы. Поэтому, наиболее целесообразным представляется использование в качестве устройств присоединения передающих и приемных устройств (ПРУ) к высоковольтной сети, уже имеющегося оборудования на подстанции, к тому же если есть возможность достаточно простого согласования их с ПУ и ПРУ.

Таковыми устройствами присоединения могут служить измерительные трансформаторы напряжения (ТН), которые практически установлены на всех подстанциях напряжением 35/10,6 кВ и предназначены для электрических измерения и контроля изоляции. Рассмотрим некоторые схемы (рис-3) образование КНП с помощью измерительных ТН в распределительных сетях. В электрических сетях напряжением 6-10 кВ широко используются ТН типа НТМИ. Предназначены они, в основном, для изменения фазных и междуфазных напряжений, а также для измерения напряжения нулевой последовательности.

Трансформаторы напряжения типа НТМИ содержат первичные 1 и вторичные 2 фазовые обмотки, соединение в звезду, нейтралью которой заземлены, и нулевой обмотки 3 соединение в разомкнутый треугольник, для сигнализации о замыканиях наземных в высоковольтной сети (рис-3а). При наличии НТМИ на контролируемых пунктах (КП) и диспетчерских пунктов приемно-передающее полукомплекты 4 системы ТС могут подключаться к нулевым обмоткам 3.

Кроме ТН типа НТМИ в распределительных электрических сетях (РЭС) в диапазоне напряжения от 6 кВ до 35 кВ включительно могут быть установлены однофазные ТН типа НОМ,ЗНОМ и др. Обычно они составляют группу из трех трансформаторов 5, первичные обмотки которых включаются в звезду с заземленной нейтралью а вторичные в разомкнутый треугольник, к которым могут быть также подключены приемно-передающие полукомплекты 4 (рис-3б).

Независимо от выбранной схемы подключения, с целью повышения отдаваемой мощности источником сигнала в электрическую сеть, возникает вопросы уравнения сопротивления ФПЧ и ТН.

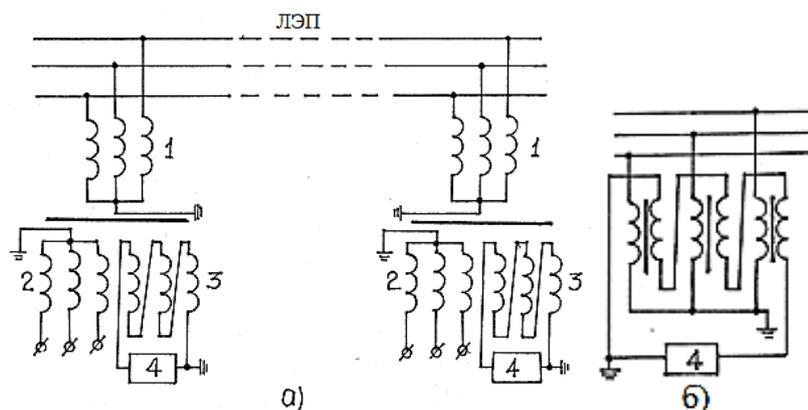


Рис-3

В целом ТН и ФПЧ представляют собой четырехполюсники и поэтому их согласование-это, прежде всего согласование к сопротивлению внешней цепи. В ТН преобладающее значение имеет сопротивление индуктивного характера. Попытка согласования параметров с помощью расчетных формул требует довольно громоздких теоретических исследований, т. к. ФПЧ является нелинейным четырехполюсником и вопросы, связанные со схемой замещения подобных устройств с учетом всех нелинейных процессов, недостаточно изучены. В результате чего, изучение включения



линейных конденсаторов во вторичную обмотку ТН явилось попыткой согласования ФПЧ и ТН экспериментальным путем.

Таким образом, выбрав оптимальную величину напряжения на выходе ФПЧ и емкости согласующих конденсаторов, можно добиться той величины вводимой мощности сигнала в электрическую сеть, которая была бы достаточной для нормальной работы приемного устройства системы ТС.

## References:

1. Горбарук В. И., Бладыко В.М., Мазуренко А. А. Преобразование однофазного переменного тока в трехфазный пониженной частоты. Изв. вузов, "Энергетика", №2, 1971.
2. Каримов А.С. Энергетические соотношения в цепях с автоколебательными процессами преобразования числа фаз и частоты переменного тока. Материалы научно-технической конференции. "Повышение эффективности устройств преобразовательной техники". Изд. "Наукова думка", ч. I, Киев, 1972.
3. Бурханходжаев А.М., Львов В.К. Методы расчета автопараметрических колебаний АПК в двухконтурной феррорезонансной цепи смещенного соединения. Сборник материалов по итогам научно-исследовательских работ энергетического факультета. ТашПИ, 1974.
4. Ибадуллаев М. Низшие и полигармонические колебания в многофазных цепях с электромагнитными колебательными контурами. Автореферат канд. диссерт., Ташкент, 1974.
5. Бладыко В.М., Горбарук В.Н., Бычков А.И. Аналитический расчет двухконтурной феррорезонансной схемы в режиме возбуждения второй субгармоники. ИВУЗ, "Энергетика" №5, 1975.
6. Горбарук В.И., Тишечкин А.А. Исследование двухконтурной феррорезонансной цепи на аналогичной вычислительной машине. ИВУЗ, "Энергетика", №2, 1975.
7. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Т.2. Электромагнитное поле. М: Высшая школа 1984.
8. Андреев Ф.И. Теоретические основы электротехники. Уч.пос. Екатеринбург. 2003 г.
9. Шайматов Б.Х., Турдиев М.Т., Камалов У.У. Схемный анализ многоконтурных феррорезонансных цепей. Актуальные вопросы в области техники, совершенствование и развитие технологических систем. Ташкент, ТашПИ. 1991.г.-С.168.
10. Шайматов Б.Х. Каримов А.С. Товбаев А.Н. Оптимизация процесса преобразования электроэнергии в феррорезонансных цепях Фаргона политехника институт илмий-техник журнали., Фаргона, 2000й.№3.-С 72÷74
11. Шайматов Б.Х., Тураев А.С., Норов Ю.Д. Моделирование напряженного состояния массива при проведении траншеи методами фатопругости. Механика муаммолари. Ўзбекистон журнали., Тошкент, 2000 й.№3.-С. 86÷89
12. Шайматов Б.Х., Эргашев.Э., Анарбаев.С. Защита группы электродвигателей от неполнофазного режима. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана».Навои, 2004 г.№1.- С.46÷48



13. Шайматов Б.Х., Қаршибоев А. Повышение эффективности применения электроэнергии на открытых горных работах. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2006 г. №1.-С.84÷85.
14. Шайматов Б.Х., Исунс С.А., Каршибоев А. Методические принципы исследования электропотребления на горных предприятиях Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2006г. №2.-С.95÷96.
15. Шайматов Б.Х., Саъдуллаев Н.Н., Холмуродов М. Электронный анализ экономии электроэнергии в промышленности. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2008г. №4.-С.69÷70.
16. Шайматов Б.Х., Қаршибоев А., Холмуродов М. Прогнозирование электропотребление горных предприятий при разработки рудных месторождений. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2008г. №4.-С.71÷73.
17. Шайматов Б.Х., Саъдуллаев Н.Н., Холмуродов М.Б. Оптимизация параметров в системы внутривзаводского электроснабжения. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2009г. №4.-С.74-76.
18. Шайматов Б.Х., Бобожанов М.Қ., Холмуродов М.Б. Энерго-и ресурсосбережение на предприятиях горно-металлургической отрасли. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2010г. №4.-С.89÷90.
19. Шайматов Б.Х., Таслимов А.Д., Холмуродов М.Б. Снижение потерь электроэнергии городских распределительных электрических сетей. Научно-технический и производственный журнал «Горный Вестник Узбекистана». Навои, 2011г. №4.-С.66
20. Шайматов Б.Х., Холмуродов М. Б., Гаффоров К. К. Комилов С. О. Эффективность применения феррорезонансных преобразователей частоты в электрических системах XXV Международной научно-практической конференции «EURASIASCIENCE». 2019 г.
21. Шайматов Б.Х., Холмуродов М.Б. Определение количественных и качественных методов исследования феррорезонансных цепей. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2020 й.
22. Шайматов Б.Х., Rahmatov D., Kholmurodov M., Mukhtorov A., Rakhmatova M. Probe of process of multiple-loop chains of parallel and consecutive joints. E3S Web of Conferences 216, 01142 (2020) RSES 2020 <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021601142>
23. Шайматов Б.Х., M.Rakhmatova, S.Komilov, D. Qurbonova. The application of three-contour Ferreaseezones chain-based frequency transformers. CONMECHYDRO-2021 (International Scientific Conference Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering CONMECHYDRO-2021):<http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-85108219769&partnerID=MN8TOARS>
24. Шайматов Б.Х., Рахматова М.У. Частота бўлаклагичлар асосида мелиоратив электр тармоқларида масофадан сигнализация тизимини такомиллаштириш. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2021 й
25. Шайматов Б.Х., I. Khafizov, K. Gafforov, O. Vozorov. Elimination of energy losses in pump units and increase of power efficiency by means of the tool of control of speed ISSN: 2776-0987 volume 2, issue 5, may, 2021 <https://it.academiascience.org/index.php/it/article/view/49>



26. Шайматов Б.Х., Гаффаров К.К., Рахматова М.У. Основные факторы совершенствования электроснабжения на промышленных предприятиях. Развитие науки и технологий научно – технический журнал.№ 4., 2021 г.
27. Шайматов Б.Х., Холмуродов М.Б. Мелиоратив насос иншоотларида сув босимининг мақсадсиз оширилиши ва унинг электр энергия тақсимоти таъсири. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й. №3 178-182б
28. Шайматов Б.Х., Холмуродов М.В., Хафизов Х.И. Energetik tizimda himoya vositasini qo'llash texnologiyasining ustivorligi.“Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й.№ 4 101-106 б
29. Шайматов Б.Х., Холмуродов М.В., Мелиоратив насос агрегатларининг ишлаш тавсифлари ва энергия тежаш режимларини таъминлаш вазифалари. “Фан ва технологиялар тараққиёти” илмий-техникавий журнал. 2022 й.№ 6.
30. Шайматов Б.Х., Хожиев Қ.Б.,Хожимурадов Ж.,Оқмаматов Д. Распределение температуры по ширине фиксирующих элементов лучепоглощающей пластины. International Bulletin of Applied Sciences and Technology.Germaniya.2022y.
31. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7379833>
32. Шайматов Б.Х., Хожиев Қ.В. Energetika sohasida muqobil energiya manbalaridan foydalanish ko'satkichlari.«Eurasian Journal of Academic Research» xalqaro ilmiy jurnali (ISSN: 2181-2020) 2023 yil 2-sonida nashr etilgan.
33. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7676594>
34. Шайматов Б.Х.,Хафизов И.И.,Холмуродов М.Б.,Саттаров Т.А. «Электр машиналари» фанидан дарслик. Бухоро: Садриддин СалимБухорий ,Дурдона нашриёти,-2021 й.-637 б