

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2742902

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Патентообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Замятин Егор Олегович (RU), Скамьин Александр Николаевич (RU), Войтюк Ирина Николаевна (RU)*

Заявка № 2020136148

Приоритет изобретения 03 ноября 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 11 февраля 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 03 ноября 2040 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
H02J 3/18 (2020.08)

(21)(22) Заявка: 2020136148, 03.11.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
03.11.2020

Дата регистрации:
11.02.2021

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 03.11.2020

(45) Опубликовано: 11.02.2021 Бюл. № 5

Адрес для переписки:

199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,
Санкт-Петербургский ГУ, Патентно-
лицензионный отдел

(72) Автор(ы):

Замятин Егор Олегович (RU),
Скамьин Александр Николаевич (RU),
Войтюк Ирина Николаевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Санкт-Петербургский горный
университет» (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2674166 C1, 05.12.2018. RU
2563250 C1, 20.09.2015. RU 2349012 C1,
10.03.2009. US 4897593 A, 30.01.1990.

(54) СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЧЕК ПОДКЛЮЧЕНИЯ КОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способу снижения суммарных потерь активной мощности в электрических сетях путем снижения уровня реактивной мощности и высших гармоник. Использование: в области электротехники и электроэнергетики. Технический результат - повышение качества электроэнергии и снижение суммарных потерь активной мощности за счет точечного подключения компенсирующих устройств в распределительной сети предприятия. Согласно способу проводят замеры активной мощности, коэффициента мощности, суммарного коэффициента гармонических искажений, длины линии электропередач ЛЭП с помощью анализатора качества электрической энергии, далее проводят выбор точек подключения

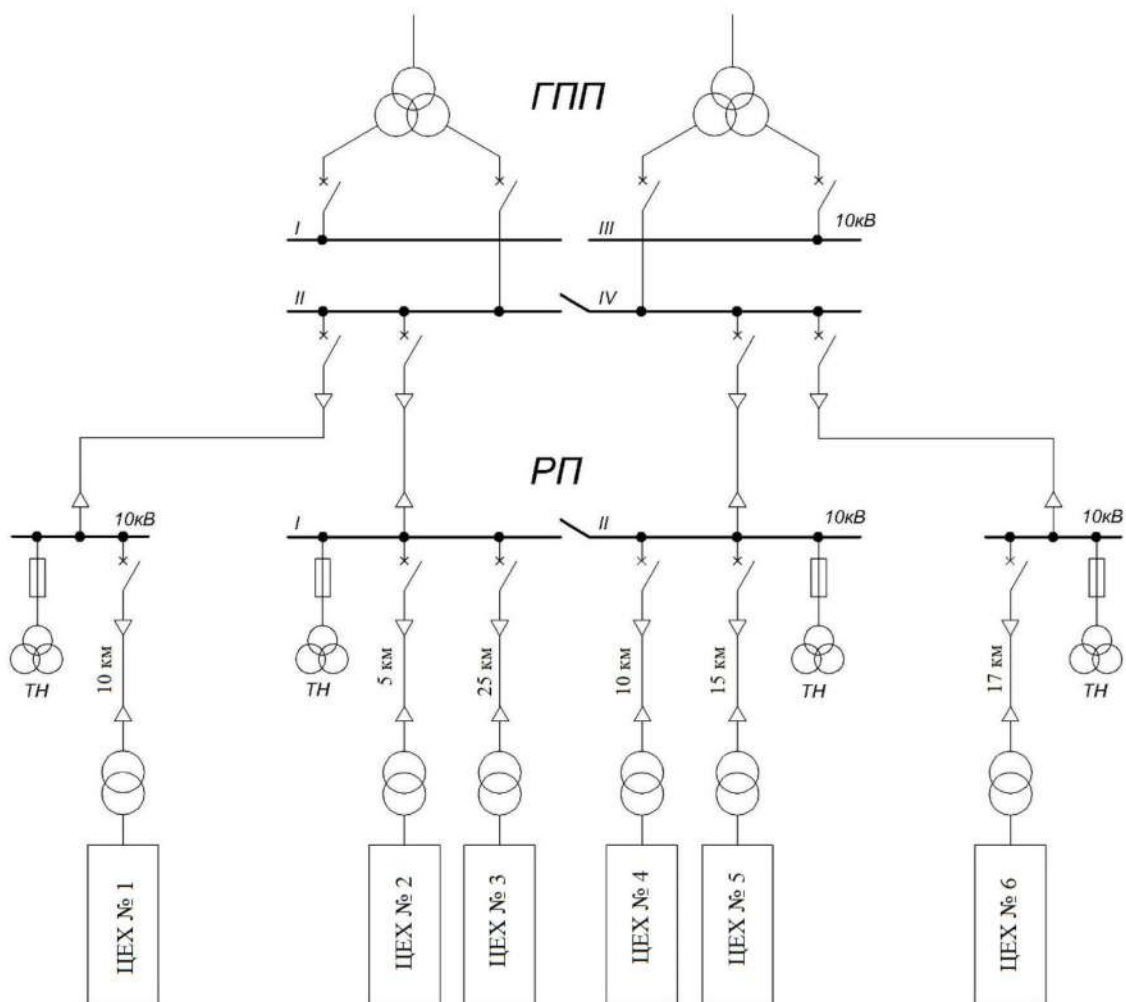
компенсирующих устройств с учетом топологии распределительной сети, которые определяют исходя из вклада нагрузки в суммарные потери активной мощности по формуле

$$Z_i = \frac{l_i P_i^2 K_{M\Sigma}^2 k_i^2}{l_\Sigma P_\Sigma^2 K_{Mi}^2 k_\Sigma^2}$$

затем по результатам расчета строится гистограмма ранжирования по убыванию величины Z_i , на которую накладывают кривую накопленного процента Парето, задают допустимый уровень вклада в суммарные потери активной мощности, затем определяют нагрузки, имеющие больший вклад в суммарные потери активной мощности, после чего подключают компенсирующие устройства непосредственно у этих нагрузок. 4 ил., 4 табл.

RU 2 742 902 C1

RU 2 742 902 C1



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02J 3/18 (2020.08)

(21)(22) Application: **2020136148, 03.11.2020**

(24) Effective date for property rights:
03.11.2020

Registration date:
11.02.2021

Priority:

(22) Date of filing: **03.11.2020**

(45) Date of publication: **11.02.2021** Bull. № 5

Mail address:

199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, Sankt-Peterburgskij GU, Patentno-litsenzionnyj otdel

(72) Inventor(s):

**Zamiatin Egor Olegovich (RU),
Skamin Aleksandr Nikolaevich (RU),
Voitiuk Irina Nikolaevna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi
universitet» (RU)**

(54) **METHOD FOR DETERMINING COMPENSATING DEVICE CONNECTION POINTS**

(57) Abstract:

FIELD: electrical and power engineering.

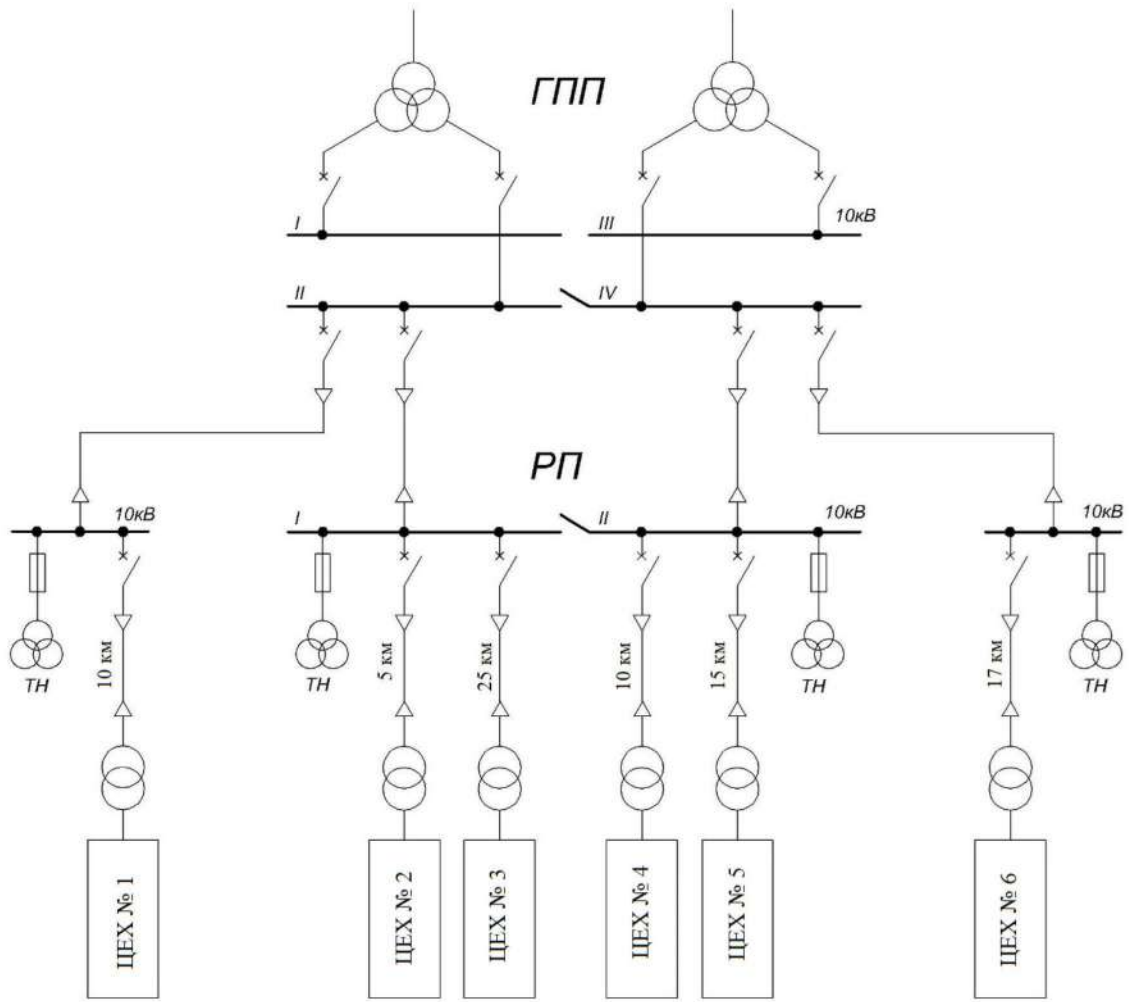
SUBSTANCE: invention relates to a method for reducing the total losses of active power in electrical networks by reducing the level of reactive power and higher harmonics. According to the method, measurements of active power, power factor, total harmonic distortion, the length of the power transmission line are carried out using an electrical energy quality analyzer, then the connection points of compensating devices are selected taking into account the topology of the distribution network, which are determined based on the contribution of the load to the total losses of active power according to the formula

$$Z_i = \frac{l_i P_i^2 K_{M\Sigma}^2 k_i^2}{l_\Sigma P_\Sigma^2 K_{Mi}^2 k_\Sigma^2},$$

based on the results of the calculation, a ranking histogram is constructed in descending order of the value of Z_i , on which the accumulated Pareto percentage curve is imposed, the permissible level of contribution to the total active power losses is set, then the loads that have a greater contribution to the total active power losses are determined, after which compensating devices are connected directly at these loads.

EFFECT: increase in quality of electricity and decrease in total losses of active power due to the point connection of compensating devices in distribution network of the enterprise.

1 cl, 4 dwg, 4 tbl



Фиг. 2

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике, а именно к способу снижения суммарных потерь активной мощности в электрических сетях, путем снижения уровня реактивной мощности и высших гармоник. Способ может быть использован в системах электроснабжения промышленных предприятий с нелинейной и линейной активно-индуктивной нагрузкой для снижения суммарных потерь активной мощности в распределительных сетях среднего напряжения.

Известен способ размещения компенсирующих устройств в распределительных сетях предприятий

(<http://electricalschool.info/main/elsnabg/1300-razmeshhenie-kompensirujushhikh.html>, дата обращения: 05.11.2019),

применяемый в системах электроснабжения промышленных предприятий с оборудованием, генерирующим высшие гармоники тока, а также в активных фильтрах.

Недостаток способа заключается в том, что при выборе компенсирующих устройств учитывается только реактивная мощность нагрузки, при этом, в случае наличия нелинейной нагрузки гармоники тока и напряжения не учитываются, что может привести к выходу из строя компенсирующего устройства, также способ не позволяет определить точки подключения компенсирующих устройств.

Известен способ совместной компенсации реактивной мощности, подавления токов высших гармоник и симметрирования токов тяговой нагрузки железной дороги (патент RU 2665697 C1 опубл. 04.09.2018 г.), заключающийся в совместной компенсации реактивной мощности, подавления токов высших гармоник и симметрирования токов тяговой нагрузки.

Недостатком способа является сложность его применения с распределенными сетями среднего напряжения, так как для вычисления требуемых величин необходимо множество измерений мгновенных величин, что требует точных средств измерения одновременно с мощным микроконтроллером.

Известен способ размещения конденсаторных устройств в сельских распределительных сетях 0,4 кВ (патент RU 2563250 C1 опубл. 20.09.2015 г.), заключающийся в определении значений длин магистральной линии, двухфазных и трехфазных ответвлений от магистрали; измерение в узлах, соответствующих полученным значениям, напряжения и коэффициента мощности.

Недостатком способа является процесс измерения коэффициента реактивной мощности ввиду того, что данный коэффициент не имеет четкого определения и методики его измерения. Также способ не учитывает влияние уже подключенных конденсаторных батарей, что может сказаться на выборе точек подключения новых конденсаторных батарей.

Известен способ выбора и размещения компенсирующих устройств в электрической сети предприятия

(https://lms.kgeu.ru/pluginfile.php?file=%2F149812%2Fmod_resource%2Fcontent%2F1%2FВыбор%20и%20размещение%20компенсирующих%20устройств.pdf, дата обращения: 05.11.2019),

который заключается в том, что конденсаторные батареи должны быть распределены между подстанциями проектируемой сети таким образом, чтобы потери мощности в сети были минимальны.

Недостатком способа является тот факт, что для определения точек подключения компенсирующих устройств в сложной распределительной электрической сети необходимо использовать специальные методы оптимизации режимов и расчета на

ЭВМ по специальным программам, что приводит к усложнению анализа и, следовательно, к дополнительным временным затратам.

Известен способ рациональной расстановки устройств компенсации реактивной мощности с учетом обобщенных характеристик режима (<https://helpiks.org/8-1853.html>, дата обращения: 05.11.2019), который заключается в выявлении «жестких» узлов и оценки объема компенсации реактивной мощности используя обобщенные характеристики режима.

Недостаток способа заключается в том, что он требует большое количество вычислений с использованием специальных программ. Также при наличии в сети высших гармонических искажений использование способа представляется невозможным, поскольку наличие гармонических искажений в распределительной сети данный способ не учитывает. Применение данного способа в условиях несинусоидальности кривой тока или напряжения может привести к выходу из строя компенсирующих устройств.

Известен способ компенсации высших гармоник и повышения качества потребляемой электроэнергии (патент RU № 2674166, опубл. 05.12.2018 г.), принятый за прототип, заключающийся в достижении минимальных показателей искажения тока и оперативном реагировании на изменения гармонического состава тока.

Недостатком способа является применение активного фильтра, довольно сложного по конструкции и использованию устройства, связанного с большим количеством вычислений, что требует дополнительных вычислительных мощностей, что в свою очередь увеличивает постоянную времени реакции на изменение гармонического состава тока или напряжения, а также приводит к дополнительным энергозатратам.

Техническим результатом является повышение качества электроэнергии и снижение суммарных потерь активной мощности за счет точечного подключения компенсирующих устройств в распределительной сети предприятия.

Технический результат достигается тем, что проводят замеры активной мощности, коэффициента мощности, суммарного коэффициента гармонических искажений, длины линии электропередач ЛЭП с помощью анализатор качества электрической энергии, далее проводят выбор точек подключения компенсирующих устройств с учетом топологии распределительной сети, которые определяют исходя из вклада нагрузки в суммарные потери активной мощности по формуле

$$Z_i = \frac{l_i P_i^2 K_{M\Sigma}^2 k_i^2}{l_\Sigma P_\Sigma^2 K_{Mi}^2 k_\Sigma^2}$$

где: l_i – длина линии от источника питания до i -й нагрузки, км,

l_Σ – суммарная длина линий рассматриваемой сети, км,

P_i – активная мощность i -й нагрузки, кВт,

P_Σ – суммарная активная мощность нагрузки, кВт,

K_{Mi} – коэффициент мощности i -й нагрузки, о.е.,

$K_{M\Sigma}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузок предприятия, о.е., k_i – коэффициент искажения по току i -й нагрузки, о.е.,

k_Σ – средневзвешенный коэффициент искажения по току, о.е.,

затем по результатам расчета строится гистограмма ранжирования по убыванию величины Z_i , на которую накладывают кривую накопленного процента Парето, задают

допустимый уровень вклада в суммарные потери активной мощности, затем определяют нагрузки, имеющие больший вклад в суммарные потери активной мощности, после этого подключают компенсирующие устройства непосредственно у этих нагрузок.

Способ поясняется следующими фигурами:

- 5 фиг. 1 – алгоритм реализации способа подключения компенсирующих устройств
 фиг. 2 – распределительная сеть электротехнического комплекса среднего уровня
 напряжения
 фиг. 3 – имитационная однофазная схема замещения сети среднего уровня напряжения
 фиг. 4 – гистограммы суммарных потерь активной мощности для различных
 10 потребителей

Способ осуществляется следующим образом. Алгоритм реализации способа подключения компенсирующих устройств представлен на фиг. 1. На первом этапе необходимо получить данные путем инструментальных замеров активной мощности (кВт), коэффициента мощности (о.е. – относительные единицы), суммарного
 15 коэффициента гармонических искажений (о.е. – относительные единицы), длины линии электропередач ЛЭП, используя анализатор качества электрической энергии стационарный или переносной, либо действующую систему сбора данных (при условии возможности измерения указанных параметров).

Далее, используя полученные данные, рассчитать суммарные потери активной
 20 мощности Z_i для каждой нагрузки по следующей формуле:

$$Z_i = \frac{l_i P_i^2 K_{M\Sigma}^2 k_i^2}{l_\Sigma P_\Sigma^2 K_{Mi}^2 k_\Sigma^2},$$

25 где: l_i – длина линии от источника питания до i -й нагрузки, км;

l_Σ – суммарная длина линий рассматриваемой сети, км;

P_i – активная мощность i -й нагрузки, кВт;

P_Σ – суммарная активная мощность нагрузки, кВт;

30 K_{Mi} – коэффициент мощности i -й нагрузки, о.е.;

$K_{M\Sigma}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузок предприятия, о.е.;

k_i – коэффициент искажения по току i -й нагрузки, о.е.;

35 k_Σ – средневзвешенный коэффициент искажения по току, о.е.

Коэффициент искажения по току нельзя измерить подавляющим большинством измерительной техники, но он связан с THD тока следующим выражением:

$$k = \sqrt{(1 + THD_I^2)},$$

40 где: THD_I – суммарный коэффициент гармонических искажений, о.е.

После чего результат расчета представляется в виде гистограммы, ранжированной по убыванию величины Z_i , на которую накладывается кривая накопленного процента Парето и задается допустимый уровень вклада в суммарные потери активной мощности
 45 в процентах, как правило 80 %, слева от точки пересечения допустимого уровня вклада в суммарные потери активной мощности и кривой Парето нагрузки имеют больший вклад в суммарные потери активной мощности, что, в свою очередь, обуславливает необходимость подключать компенсирующие устройства непосредственно у этих

нагрузок (фиг. 4).

Метод Парето применяется в различных областях знаний, широко известна интерпретация метода из экономики – 20 % усилий дают 80 % результата.

Математически метод Парето определяется как: вектор решения $\vec{x}^T \in S$ называется

оптимальным по Парето, если не существует $\vec{x} \in S$ такого, что $f_i(\vec{x}) \leq f_i(\vec{x}^T)$ для

всех $i = 1, \dots, k$ и $f_i(\vec{x}^T) < f_i(\vec{x})$ хотя бы для одного i . задавшись уровнем

накопленного процента. Компенсирующее устройство подключается непосредственно

у нагрузки с наибольшим вкладом в суммарные потери активной мощности.

Способ поясняется следующими примерами. Имеется сеть среднего уровня напряжения (фиг. 2) содержащая как линейную, так и нелинейную нагрузки. Компенсирующие устройства подключаются на шины среднего напряжения. Реализация

способа проводится на основе имитационного моделирования, для чего создана

имитационная схема (фиг. 3). Адекватность результатов имитационного моделирования

обусловлена применением специализированного программного обеспечения Matlab.

Для этой схемы применение способа выглядит следующим образом. В таблице 1 приведены исходные данные, требуемые для расчета суммарных потерь активной мощности.

Таблица 1 – Исходные данные

№ п/п	Наименование нагрузки	Активная мощность, кВт	Коэффициент мощности, о.е.	Длина ЛЭП, км	Суммарный коэффициент гармонических составляющих, о.е.
1	Цех № 1	1 000,00	0,71	10	0
2	Цех № 2	2 000,00	0,89	5	0,07
3	Цех № 3	2 100,00	0,73	25	0,2
4	Цех № 4	1 000,00	0,32	10	0
5	Цех № 5	2 000,00	0,69	15	0
6	Цех № 6	2 000,00	0,89	17	0

В качестве исходных данных выбирались активная мощность (кВт), коэффициент мощности (о.е.), суммарный коэффициент гармонических искажений (о.е.), длина линии электропередач ЛЭП (км.), которые были получены с металлургического предприятия. Схема (фиг. 2) является радиальной, визуальная простота схемы обусловлена тем, что рассматривается средний уровень напряжения, т.е. 6 (10) кВ. Очевидно, что рассматривать данную схему на всех уровнях напряжения нецелесообразно, поскольку зачастую компенсирующие устройства подключаются именно на средний уровень

напряжения. Имитационная схема представляет собой однофазную схему замещения. Источниками тока моделируются высокочастотные гармонические искажения. Данные имитационного моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результат имитационного моделирования

№ п/п	Наименование нагрузки	Ток линии, А	Потери активной мощности, кВт
1	Цех № 1	130,6	17,1
2	Цех № 2	211,1	22,3
3	Цех № 3	276,1	190,6
4	Цех № 4	272,7	74,4
5	Цех № 5	246,8	91,4
6	Цех № 6	198,1	66,7
7	Суммарные потери	-	462,4

Для определения точек подключения, согласно предлагаемому способу, данные из таблицы 1 вводятся в программу, реализующую алгоритм определения точек подключения компенсирующих устройств, в результате получится гистограмма (Фиг. 4). В основе алгоритма лежит вычисление вклада нагрузки в суммарные потери активной мощности Z_i .

Из гистограммы видно, что наибольший вклад в суммарные потери активной мощности вносят нагрузки под номерами 3, 5, 4, 6. Однако, согласно предлагаемому способу, компенсирующие устройства необходимо подключать у нагрузки, создающей 80 % потерь (метод Парето). Таким образом, компенсировав искажения, создаваемые нагрузками 3, 5, 4 суммарные потери активной мощности снизятся до оптимального уровня (по критерию отношения затрат на компенсирующие устройства к эффекту от их применения) (Таблица 3).

Таблица 3 – Результат компенсации искажений по предлагаемому способу

№ п/п	Наименование нагрузки	Ток линии, А	Потери активной мощности, кВт
1	Цех № 1	132,8	17,6
2	Цех № 2	214,9	23,1
3	Цех № 3	193	93,1
4	Цех № 4	96,9	9,4
5	Цех № 5	189,4	53,8
6	Цех № 6	201,4	69,0
7	Суммарные потери	-	266

Сравнение с другими возможными способами подключения компенсирующих устройств представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Сравнение результатов применения компенсирующих устройств разными способами

№ п/п	Наименование нагрузки	Потери активной мощности без компенсации, кВт	Потери активной мощности при компенсации по предлагаемому способу, кВт	Потери активной мощности при компенсации всех искажений, кВт	Потери активной мощности при централизованной компенсации, кВт
1	Цех № 1	17,1	17,6	9,5492	18,1172
2	Цех № 2	22,3	23,1	19,0906	23,6096
3	Цех № 3	190,6	93,1	94,6729	138,651
4	Цех № 4	74,4	9,4	9,5492	79,0734
5	Цех № 5	91,4	53,8	54,6642	97,1554
6	Цех № 6	66,7	69,0	61,37	70,886
7	Суммарные потери	462,4	266,0	248,896	427,492
8	Снижение потерь активной мощности, %	0	42,5	46,2	7,5

Из анализа данных в таблице 4 видно, что наибольший эффект в виде снижения потерь активной мощности достигается при подключении компенсирующих устройств непосредственно у каждой нагрузки. Однако, эффект по предлагаемому способу не много ниже – 42,5 % против 46,2 %, разница менее 4 % при разнице в затратах более 50 %, т.к. необходимо подключить лишь три компенсирующих устройства вместо 6. Централизованный способ компенсации показал худший результат, всего 7,5 % из чего следует, что при этом способе предприятие не избавляется от искажений внутри своей распределительной сети, в следствие этого данный способ применять экономически нецелесообразно.

В результате применения способа повышается уровень качества электроэнергии, снижаются суммарные потери активной мощности за счет точечного подключения компенсирующих устройств в распределительной сети предприятия.

(57) Формула изобретения

Способ определения точек подключения компенсирующих устройств, заключающийся в алгоритме работы устройства компенсации высших гармоник, отличающийся тем, что проводят замеры активной мощности, коэффициента мощности, суммарного коэффициента гармонических искажений, длины линии электропередач ЛЭП с помощью анализатора качества электрической энергии, далее проводят выбор точек подключения компенсирующих устройств с учетом топологии распределительной сети, которые определяют исходя из вклада нагрузки в суммарные потери активной мощности по формуле:

$$Z_i = \frac{l_i P_i^2 K_{M\Sigma}^2 k_i^2}{l_\Sigma P_\Sigma^2 K_{Mi}^2 k_\Sigma^2}$$

где: l_i – длина линии от источника питания до i -й нагрузки, км,

l_Σ – суммарная длина линий рассматриваемой сети, км,

P_i – активная мощность i -й нагрузки, кВт,

P_Σ – суммарная активная мощность нагрузки, кВт,

K_{Mi} – коэффициент мощности i -й нагрузки, о.е.,

$K_{M\Sigma}$ – средневзвешенный коэффициент мощности нагрузок предприятия, о.е., k_i – коэффициент искажения по току i -й нагрузки, о.е.,

k_Σ – средневзвешенный коэффициент искажения по току, о.е.,

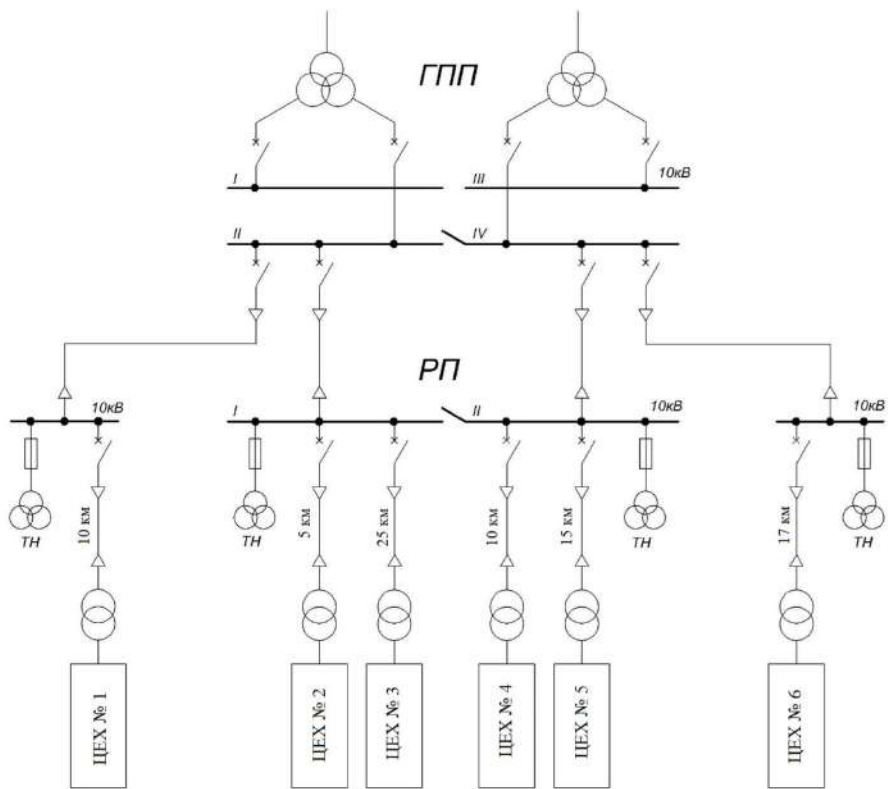
затем по результатам расчета строится гистограмма ранжирования по убыванию величины Z_i , на которую накладывают кривую накопленного процента Парето, задают допустимый уровень вклада в суммарные потери активной мощности, затем определяют нагрузки, имеющие больший вклад в суммарные потери активной мощности, после этого подключают компенсирующие устройства непосредственно у этих нагрузок.

1

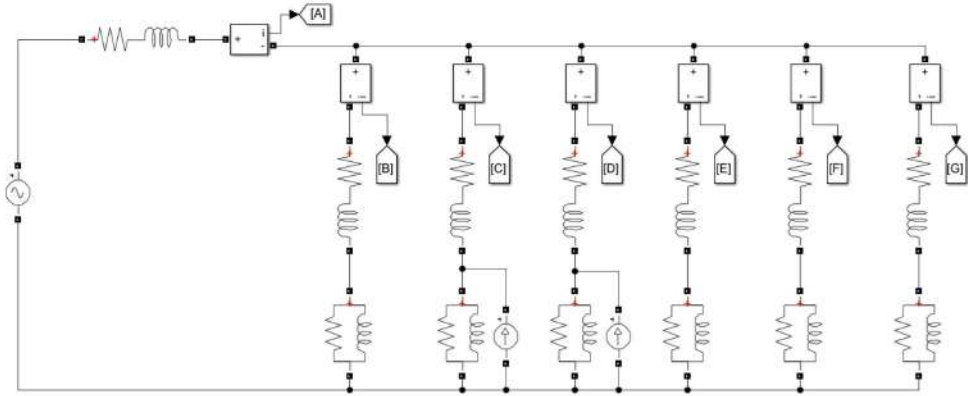


Фиг. 1

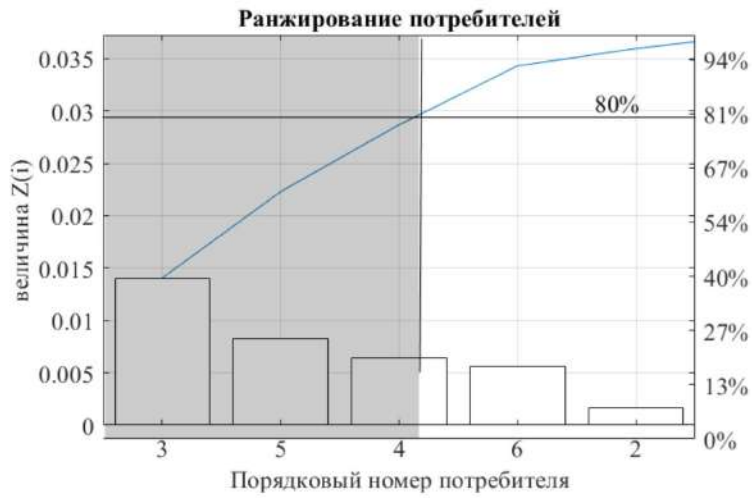
2



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4