



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
H02M 5/257 (2022.05); H02J 3/01 (2022.05)

(21)(22) Заявка: 2021134149, 23.11.2021

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
23.11.2021

Дата регистрации:  
12.07.2022

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 23.11.2021

(45) Опубликовано: 12.07.2022 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

119270, Москва, Фрунзенская наб., 40, кв. 4,  
Мустафа Г.М.

(72) Автор(ы):

**Мустафа Георгий Маркович (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**Мустафа Георгий Маркович (RU)**

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 6519274 B2, 11.02.2003. CN  
112653147 A, 13.04.2021. CN 104201680 A,  
10.12.2014. RU 51799 U1, 27.02.2006. RU 2741061  
C1, 22.01.2021. US 5239554 A, 24.08.1993.

**(54) РЕГУЛЯТОР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ДУГОВОЙ НАГРУЗКИ**

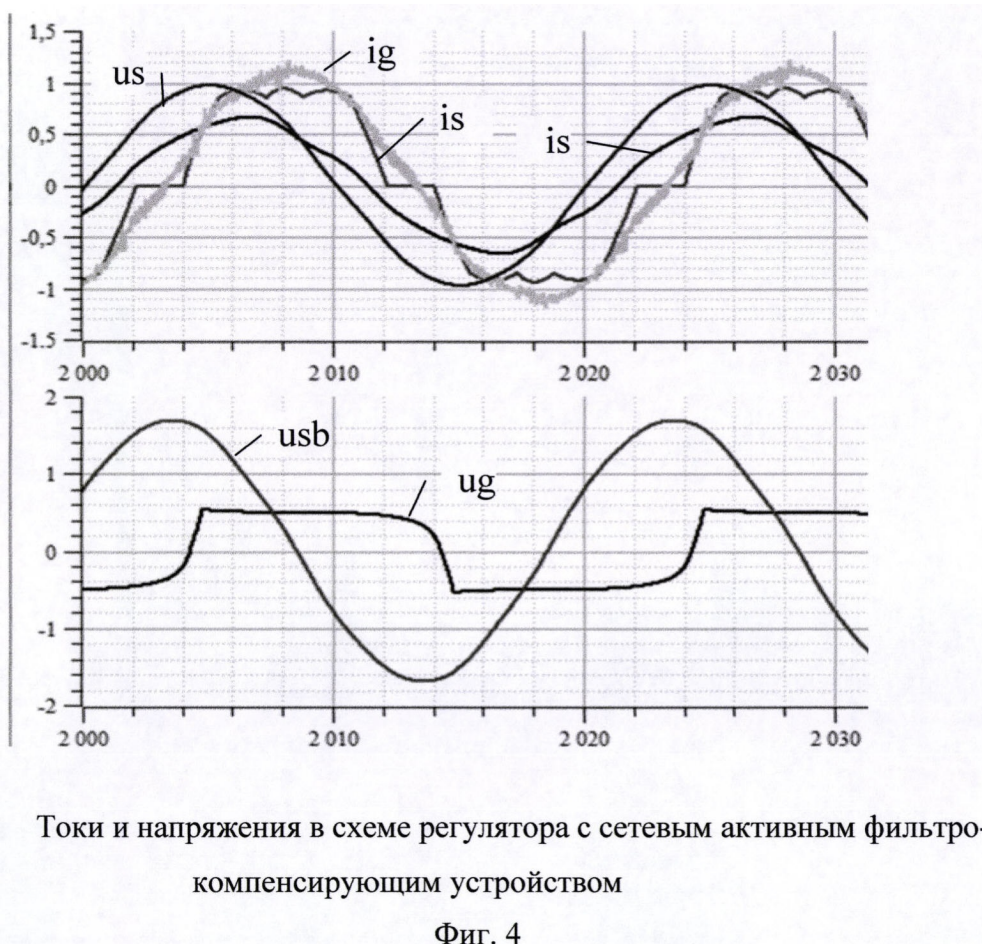
(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, преимущественно к мощным полупроводниковым регуляторам переменного тока, предназначенным для использования в системах питания электродуговых нагрузок, таких как, например, плазмотроны. Техническим результатом заявленного изобретения является снижение скорости нарастания тока плазмотрона до необходимой величины и соответствующее подавление высших гармоник в токе плазмотрона. Регулятор переменного тока дуговой нагрузки состоит из включенных последовательно встречно-параллельных тиристоров, электрического реактора и активного фильтра в виде транзисторного широтно-

модулированного конвертора, включенного параллельно нагрузке и поглощающего высшие гармоники так, что в нагрузку поступает синусоидальный непрерывный ток. При этом к шинам сети переменного тока подключено активное фильтр-компенсирующее устройство, состоящее из активного фильтра в виде транзисторного широтно-модулированного конвертора и конденсаторной батареи, соединенных параллельно, и обеспечивающее компенсацию реактивной мощности, потребляемую нагрузкой, и фильтрацию высших гармоник напряжения, возникающих из-за искажающего действия несинусоидального тока регулятора. 1 з.п. ф-лы. 4 ил.

RU 2 776 027 C1

RU 2 776 027 C1



Токи и напряжения в схеме регулятора с сетевым активным фильтро-  
компенсирующим устройством

Фиг. 4



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*H02M 5/257* (2006.01)  
*H02J 3/01* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*H02M 5/257 (2022.05); H02J 3/01 (2022.05)*

(21)(22) Application: **2021134149, 23.11.2021**

(24) Effective date for property rights:  
**23.11.2021**

Registration date:  
**12.07.2022**

Priority:  
(22) Date of filing: **23.11.2021**

(45) Date of publication: **12.07.2022** Bull. № 20

Mail address:  
**119270, Moskva, Frunzenskaya nab., 40, kv. 4,  
Mustafa G.M.**

(72) Inventor(s):  
**Mustafa Georgij Markovich (RU)**

(73) Proprietor(s):  
**Mustafa Georgij Markovich (RU)**

(54) **ARC LOAD AC CONTROLLER**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering.

SUBSTANCE: invention relates to electrical engineering, mainly to powerful semiconductor AC controllers intended for use in power supply systems for electric arc loads, such as, for example, plasma torches. The arc load alternating current controller consists of back-to-back thyristors connected in series, an electric reactor and an active filter in the form of a transistor width-modulated converter connected in parallel with the load and absorbing higher harmonics so that a sinusoidal continuous current enters the load. At the same time, an active filter-compensating device

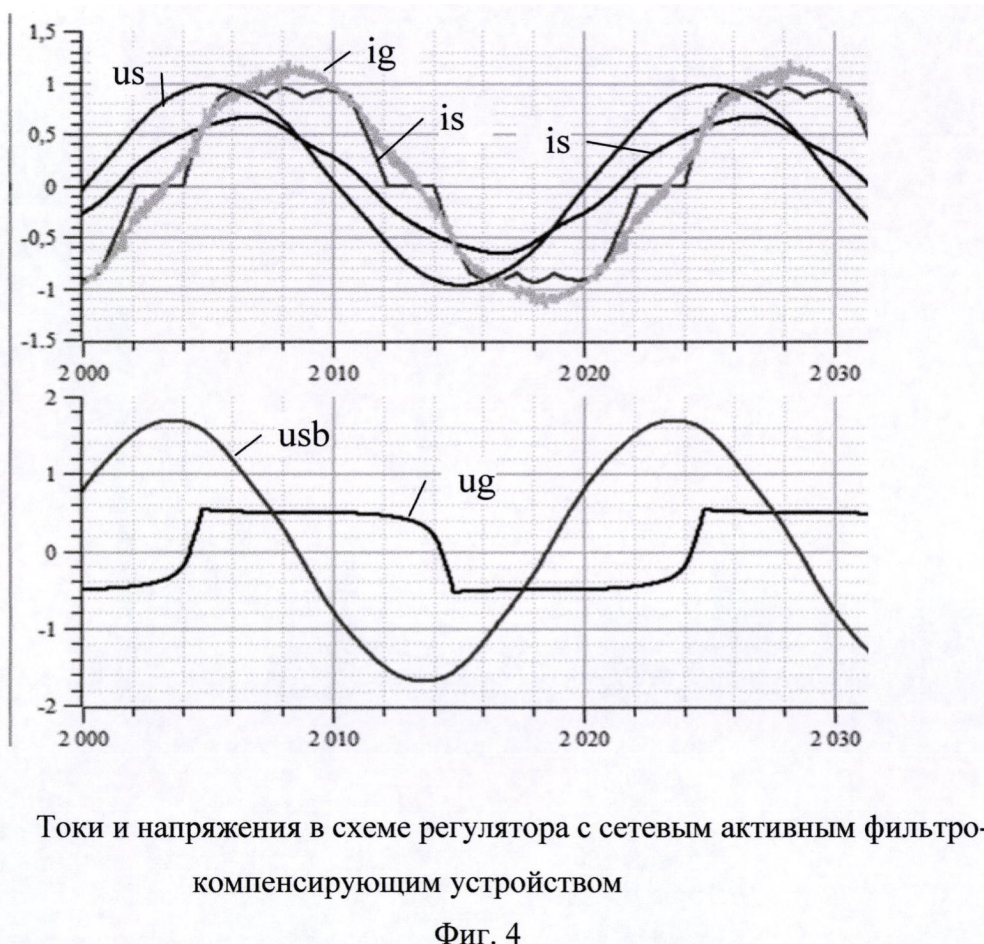
is connected to the AC busbars, consisting of an active filter in the form of a transistorized width-modulated converter and a capacitor bank connected in parallel, and providing compensation for the reactive power consumed by the load and filtering higher voltage harmonics arising from for the distorting action of the non-sinusoidal current of the regulator.

EFFECT: reducing the rate of rise of the plasma torch current to the required value and the corresponding suppression of higher harmonics in the plasma torch current.

2 cl, 4 dwg

**RU 2 776 027 C1**

**RU 2 776 027 C1**



Токи и напряжения в схеме регулятора с сетевым активным фильтро-  
компенсирующим устройством

Фиг. 4

Заявляемое техническое решение относится к электротехнике, преимущественно к мощным полупроводниковым регуляторам переменного тока, предназначенным для использования в системах питания электродуговых нагрузок, таких как, например, плазмотроны [1, 2, 3]. Плазмотрон переменного тока является нелинейной нагрузкой для источника питания, параметры которой (мощность, падение напряжения, ток, пульсации токов и напряжений) зависят от многих факторов (изменения расхода газа, режима горения дуги, геометрических размеров электродуговой камеры и т.п.). Это предъявляет специфические требования к источнику питания, например, требует наличия регулирующего элемента, обеспечивающего стабильность работы, требуемый уровень мощности плазмотрона и поддержание устойчивого горения дуги во время перехода тока через нуль. Система электропитания плазмотрона переменного тока должна иметь такие характеристики, чтобы обеспечивать снижение скорости нарастания тока плазмотрона до необходимой величины и соответствующее подавление высших гармоник в токе плазмотрона, чтобы была обеспечена как статическая, так и динамическая устойчивость дуги плазмотрона. Уменьшение уровня высших гармоник в токе плазмотрона необходимо также для обеспечения требований по электромагнитной совместимости плазмотронов с другим оборудованием.

Известен простой тиристорный регулятор переменного тока (ТР), состоящий из встречно-параллельных тиристоров, включенных последовательно с нагрузкой [4]. Известно также применение таких регуляторов, включенных последовательно с электрическим реактором и образующих тиристорно-реакторную группу, для изменения его индуктивной реакции путем регулирования тока в нем с целью компенсации реактивной мощности в сетях высокого напряжения [5]. Из-за прерывистого характера регулируемого тока такой простой регулятор неприменим для использования в системах питания потребителей, требующих непрерывного изменения тока, как при питании дуговых плазмотронов. Известна также система питания электродуговых печей, состоящая из регулятора на основе встречно-параллельных тиристоров, параллельно и последовательно которым включены электрические реакторы [6, 7]. Для компенсации реактивной мощности, потребляемой системой питания, и фильтрации высших гармоник в таких системах необходима установка статических тиристорных компенсаторов с резонансными фильтрами высших гармоник [7].

Развитие техники мощных широтно-модулированных (Pulse-Width Modulation, PWM) конверторов напряжения (Voltage Sourced Converter, VSC) [8] и появление модульных многоуровневых преобразователей [9, 10] открывают новые возможности для построения систем регулирования мощности и поддержания параметров сети в системах переменного тока и позволяет использовать простой регулятор на основе встречно-параллельно включенных тиристоров для регулирования тока и стабилизации дуги в плазмотроне.

Заявляемое техническое решение решает задачу создания непрерывного тока в дуговой нагрузке (плазмотроне) при использовании тиристорного регулятора тока, включенного последовательно с электрическим реактором. В соответствии с предложенным техническим решением известный регулятор переменного тока, состоящий из последовательно включенных встречно-параллельных тиристоров и реактора [5], дополнительно содержит транзисторно-конденсаторный широтно-модулированный конвертор, который включается параллельно нагрузке и управляется с помощью обратной связи по току.

ТР передает энергию из электрической сети в нагрузку, при этом регулирование перетока энергии осуществляется путем управления фазой включения тиристоров. Ток

регулятора  $i_s$  при этом может быть разложен на основную гармонику сетевой частоты  $i_{s1}$  и ток высших гармоник  $i_{sh}$ :

$$i_s = i_{s1} + i_{sh}. \quad (1)$$

Высокочастотный широтно-модулированный конвертор, представляющий собой активный фильтр, поглощает высшие гармоники тока

$$i_{ae} = i_{sh}, \quad (2)$$

и в нагрузку при этом поступает разностный ток

$$i_g = i_s - i_{ae} = i_{s1}, \quad (3)$$

т.е. синусоидальный непрерывающийся ток, равный основной гармонике тока ТР.

На фиг.1 представлена заявляемая схема регулятора переменного тока дуговой нагрузки. Задание напряжения  $u$ , формирующее задание тока конвертора, осуществляется регулятором напряжения  $regu$  системы управления, на вход которого поступает разностный сигнал

$$di = i_s - i_{s1}, \quad (4)$$

по сигналу обратной связи с датчика тока  $i_s$  тиристорного регулятора за вычетом первой гармоники этого тока  $i_{s1}$ , выделяемой блоком  $regi$  системы управления.

Применение активного фильтра, шунтирующего нелинейную нагрузку, обеспечивает фильтрацию гармоник, создаваемых не только тиристорным регулятором, но и возникающих в процессе горения дугового разряда вследствие колебания столба дуги [2, 3], обеспечивая дополнительное повышение устойчивости ее горения.

Работу заявляемого регулятора переменного тока иллюстрируют графики процессов (фиг. 2), полученные с помощью ELTRAN-модели. ELTRAN [11, 12] является универсальной системой моделирования вентильных преобразователей любой конфигурации и назначения. Вместе с силовой частью преобразователя в ELTRAN-модели отображается и система управления, а также, по мере необходимости, примыкающие внешние цепи. Осуществленная модель, во-первых, отображает подробно все силовые цепи тиристорного регулятора с активным фильтром, представленные на фиг. 1, в том числе:

- питающую сеть, отображаемую источником напряжения и индуктивностью сети;
- тиристорный регулятор (ТР) с последовательным реактором  $L$ ;
- ШИМ-конвертор (АФ1);
- дуговую нагрузку;
- сетевое фильтро-компенсирующее устройство (АФ2 и КБ). Математическое описание модели дуги было представлено в виде аппроксимации ее вольтамперной характеристики в соответствии с [13].

Использование тиристорно-реакторного регулятора для питания дуговой нагрузки, также связано с отрицательным действием, оказываемым им на питающую сеть из-за потребления большой реактивной мощности и искажения формы напряжения питающей сети за счет соответствующего искажения напряжения на индуктивности сети при протекании искаженного тока нагрузки. Эти искажения особо выражены при питании сверхмощных плазмотронов от сети общего пользования или питания дуговой нагрузки от сети ограниченной мощности, в частности - от автономных систем генерации электроэнергии [2, 3]. Для стабилизации и приведения формы напряжения на шинах сети к нормативным значениям предлагается использовать активное фильтро-компенсирующее устройство шунтирующего типа [14], состоящее из активного фильтра АФ2 и конденсаторной батареи КБ, как показано на фиг. 1. Работу сетевого активного

фильтро-компенсирующего устройства (АФКУ) шунтирующего типа иллюстрируют графики процессов (фиг. 3, фиг. 4), полученные с помощью ELTRAN-модели. На фиг. 3 показано напряжение  $u_{sb}$  на шинах питающей подстанции в отсутствие сетевого АФКУ. Видно, как напряжение искажено высшими гармониками.

5 На фиг. 4 показаны токи и напряжения в схеме регулятора с сетевым активным фильтро-компенсирующим устройством; напряжение  $u_{sb}$  на шинах после присоединения сетевого АФКУ становится практически синусоидальным, а коэффициент мощности нагрузки сети повышается с 0,75 до 0,94.

Источники информации

10 1. Плазмотроны: конструкции, характеристики, расчет/ А.С. Коротеев, В.М. Миронов, Ю.С. Сверчук. - М.: Машиностроение, 1993 г. - 296 с.

2. Рутберг Ф.Г., Гончаренко Р.Б., Кумкова И.И., Сафронов А.А. Особенности плазмотронов переменного тока и выбор их автономных источников электропитания применительно к установкам для получения синтез-газа. Известия Академии Наук, 15 Энергетика, №4, 2015 г., стр. 104-115.

3. Гончаренко Р.Б., Киселев А.А., Рутберг А.Ф. и др. Особенности систем электропитания трехфазных плазмотронов переменного тока. Известия Академии Наук, Энергетика, №3, 2012 г., стр. 122-127.

4. Тиристорные преобразователи напряжения для асинхронного привода/ Л.П. 20 Петров, О.А. Андрищенко, В.И. Капинос и др. - М., Энергоатомиздат, 1986. - 200 с.

5. Статические компенсаторы реактивной мощности для электрических сетей: Сб. статей/под ред. В.И. Кочкина. - М.:ЭЛЕКС-КМ, 2010. - 206 с.

6. Patent USA US 2002/0136260 A1. Power Control System For AC Arc Furnace/ T.L. Wai Ma, M. Sedighy, B.K. Perkins, T.A. Gerrtsen, J.Rajda, 26.09.2002.

25 7. Гетопанов А.Ю., Табкаров Б.Д., Климаш В.С. Исследование регулировочных свойств и влияния на сеть реакторно-тиристорного устройства на высокой стороне печного трансформатора. Промышленная электроника, автоматика и системы управления, №2 (39), 2018 г., стр. 49-55.

8. Розанов Ю.К. Силовая электроника: уч. для ВУЗов/ Ю.К. Розанов, М.В. Рябчицкий, 30 А.А. Кваснюк. - М.: Изд. дом МЭИ, 2007. - 632 с.

9. Marquardt Rainer (DE) - Current rectification circuit for voltage source inverters with separate energy stores replaces phase blocks with energy storing capacitors. Publication number DE10103031, 2002-07-25

10. A. Lesnicar, and R. Marquardt, "An Innovative Modular Multilevel Converter Topology 35 Suitable for a Wide Power Range", IEEE PowerTech Conference, Bologna, Italy, June 23-26, 2003.

11. Мустафа Г.М. - Матрицы для описания топологии трансформаторов. «Электричество», №10, 1977 г., стр. 34-39.

12. Мустафа Г.М., Шаранов И.М. - Математическое моделирование тиристорных 40 преобразователей, «Электричество», №1, 1978 г., стр. 40-45.

13. А.Н. Черненко. Обобщенная модель печной и сварочной дуги/ Вектор науки ТГУ, №3 (17), 2011, с. 68-70.

14. Мустафа Г.М., Гусев С.И. Активные фильтро-компенсирующие устройства шунтирующего и серийного типа в электрических сетях. «Энергетик», №8, 2019, стр. 45 3-10.

#### (57) Формула изобретения

1. Регулятор переменного тока дуговой нагрузки, состоящий из последовательно

соединенных встречно-параллельных тиристоров и электрического реактора, отличающийся тем, что он содержит транзисторно-конденсаторный широтно-модулированный конвертор, действующий, как активный фильтр, управляемый с помощью обратной связи по току, который включается параллельно нагрузке и поглотит высшие гармоники тока тиристорного регулятора, в результате чего в нагрузку поступает разностный синусоидальный непрерывающийся ток, равный основной гармонике тока тиристорного регулятора.

2. Регулятор переменного тока по п. 1, отличающийся тем, что к шинам питающей сети подключено активное фильтро-компенсирующее устройство, состоящее из активного фильтра и конденсаторной батареи, соединенных параллельно, и обеспечивающее компенсацию реактивной мощности, потребляемой нагрузкой, и фильтрацию высших гармоник сетевого напряжения, возникающих из-за искажающего действия несинусоидального тока регулятора.

15

20

25

30

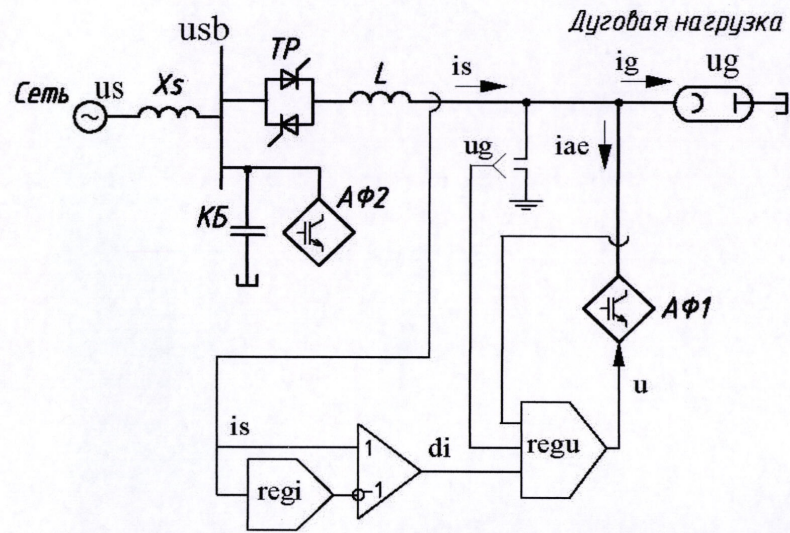
35

40

45

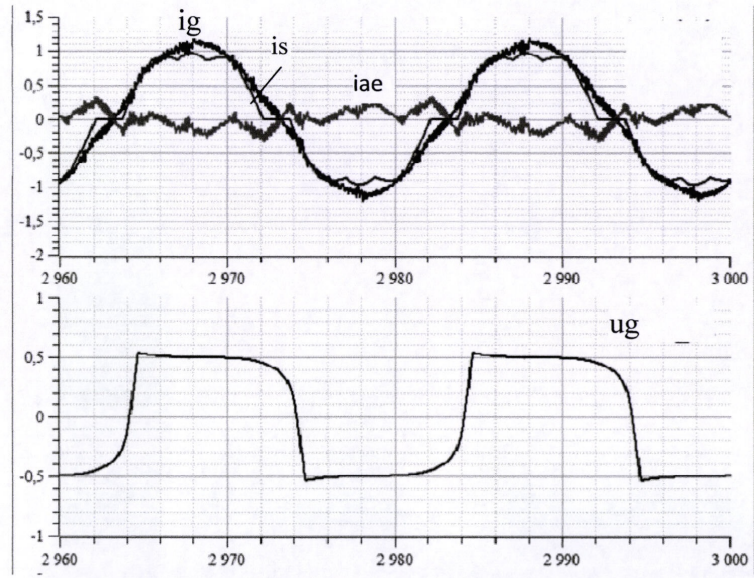


1

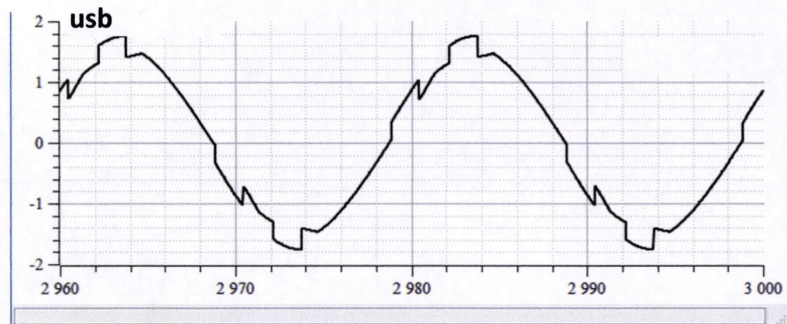


Фиг.1 – Схема регулятора тока дуговой нагрузки

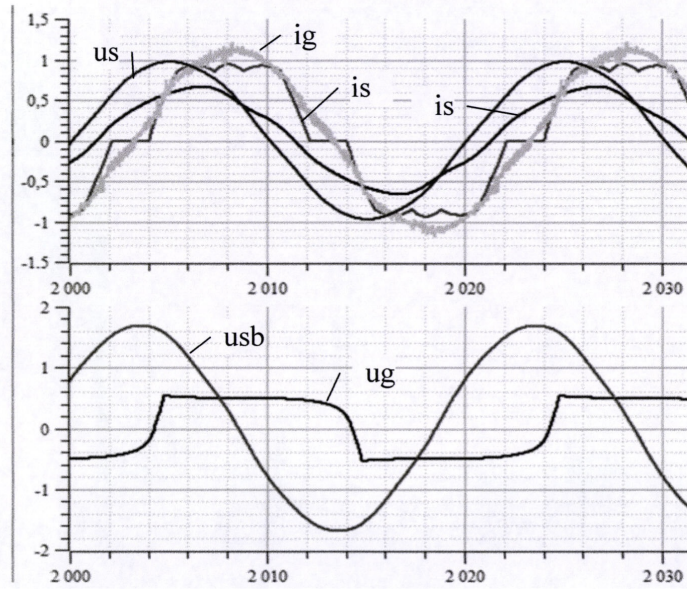
2



Фиг. 2 - Токи и напряжения в схеме регулятора с активным фильтром, включенным параллельно нагрузке



Фиг. 3 – Напряжение на шинах сети при работе регулятора без сетевого фильтро-компенсирующего устройства



Фиг. 4 - Токи и напряжения в схеме регулятора с сетевым активным фильтро-компенсирующим устройством