



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H02J 50/12 (2023.05); H02J 50/70 (2023.05)

(21)(22) Заявка: 2022129187, 10.11.2022

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.11.2022

Дата регистрации:
08.08.2023

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.11.2022

(45) Опубликовано: 08.08.2023 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50,
ФИЦ КНЦ СО РАН

(72) Автор(ы):

Боев Никита Михайлович (RU),
Крёков Сергей Дмитриевич (RU),
Подшивалов Иван Валерьевич (RU),
Соловьев Платон Николаевич (RU),
Изотов Андрей Викторович (RU),
Негодеева Ирина Александровна (RU),
Александровский Александр Анатольевич
(RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение "Федеральный
исследовательский центр "Красноярский
научный центр Сибирского отделения
Российской академии наук" (RU)

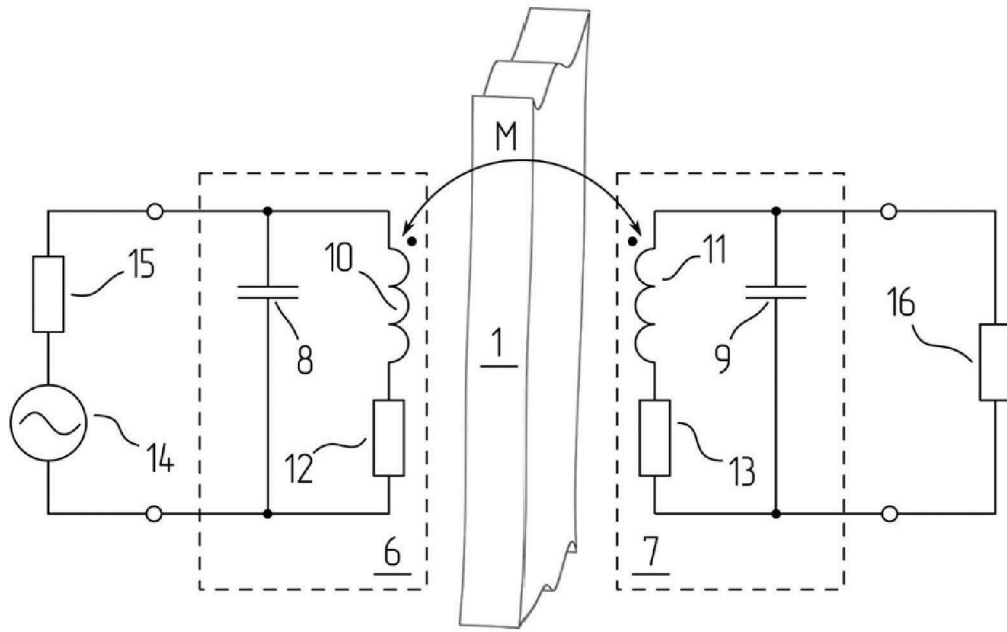
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 128413 U1, 20.05.2013. RU 2419945
C2, 27.05.2011. US 2018159377 A1, 07.06.2018. RU
2696491 C1, 02.08.2019. US 6100663 A1,
08.08.2000.

(54) Устройство для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран

(57) Реферат:

Изобретение относится к области электротехники, предназначено для беспроводной передачи электромагнитной энергии через проводящие экраны на промышленной частоте и может быть использовано в беспроводных зарядных устройствах, в системах энергоснабжения устройств, находящихся в частично или полностью замкнутых металлических экранах. Устройство для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран включает передатчик электрической энергии с передающей катушкой, приемник электрической энергии с приемной катушкой, новым является то, что между передающей и приемной катушками расположен

проводящий электрический ток экран, толщина которого меньше глубины скин-слоя в нем для заданной рабочей частоты, параллельно передающей и приемной катушкам подключены конденсаторы, при этом катушки и конденсаторы образуют связанные колебательные контуры, а передача электрической энергии осуществляется на одной из резонансных частот, на которой разница между фазами токов, текущих в приемной и передающей катушках, находится в диапазоне от 160° до 180°. Техническим результатом является обеспечение возможности передачи электрической энергии на промышленной частоте (50/60 Гц) через проводящий электрический ток экран. 17 ил.



Фиг. 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
H02J 50/12 (2023.05); H02J 50/70 (2023.05)

(21)(22) Application: **2022129187, 10.11.2022**

(24) Effective date for property rights:
10.11.2022

Registration date:
08.08.2023

Priority:

(22) Date of filing: **10.11.2022**

(45) Date of publication: **08.08.2023** Bull. № 22

Mail address:

**660036, g. Krasnoyarsk, ul. Akademgorodok, 50,
FITS KNTS SO RAN**

(72) Inventor(s):

**Boev Nikita Mikhailovich (RU),
Krekov Sergei Dmitrievich (RU),
Podshivalov Ivan Valerevich (RU),
Solovev Platon Nikolaevich (RU),
Izotov Andrei Viktorovich (RU),
Negodeeva Irina Aleksandrovna (RU),
Aleksandrovskii Aleksandr Anatolevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe
nauchnoe uchrezhdenie "Federalnyi
issledovatel'skii tsentr "Krasnoyarskii nauchnyi
tsentr Sibirskogo otdeleniia Rossiiskoi akademii
nauk" (RU)**

(54) **DEVICE FOR TRANSMITTING ELECTRICAL ENERGY AT INDUSTRIAL FREQUENCY THROUGH CONDUCTIVE SCREEN**

(57) Abstract:

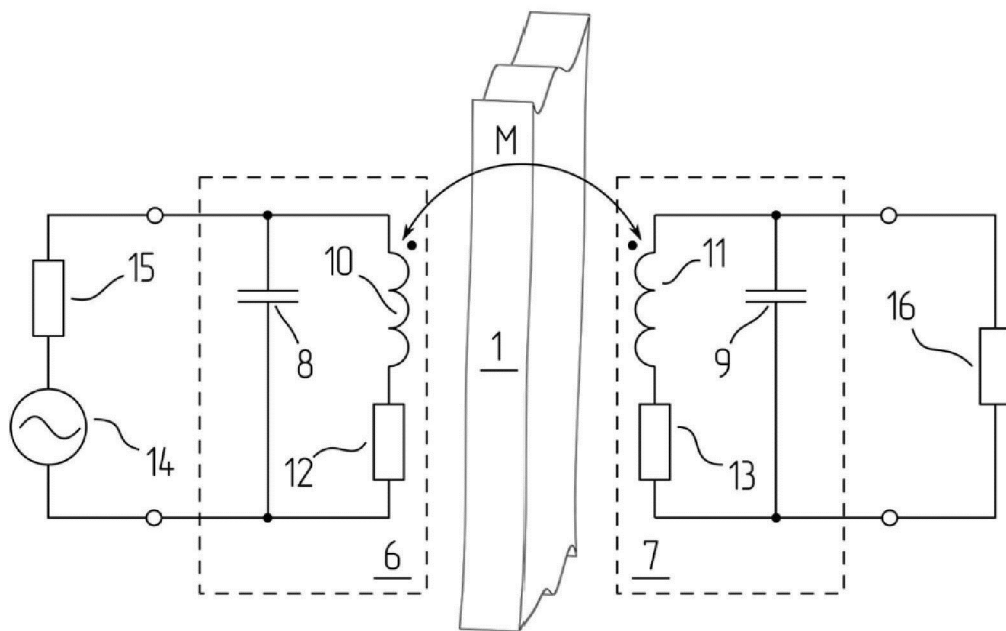
FIELD: electrical engineering

SUBSTANCE: wireless transmission of electromagnetic energy through conductive screens at industrial frequency and can be used in wireless chargers, in power supply systems for devices located in partially or completely closed metal screens. A device for transmitting electrical energy at an industrial frequency through a conductive screen includes an electrical energy transmitter with a transmitting coil, an electrical energy receiver with a receiving coil, the novelty is that between the transmitting and receiving coils there is a conductive electrical current screen, the thickness of which is less than the depth of the skin

layer in it for the given operating frequency, capacitors are connected in parallel to the transmitting and receiving coils, while the coils and capacitors form coupled oscillatory circuits, and transmission of electrical energy is carried out at one of the resonant frequencies, on which the difference between the phases of the currents flowing in the receiving and transmitting coils is in the range from 160° up to 180°.

EFFECT: possibility of transmitting electrical energy at an industrial frequency (50/60 Hz) through an electrically conductive screen.

1 cl, 17 dwg



Фиг. 2

Изобретение относится к области электротехники, предназначено для беспроводной передачи электромагнитной энергии через проводящие экраны на промышленной частоте. Устройство может быть использовано в беспроводных зарядных устройствах, в системах энергоснабжения устройств, находящихся в частично или полностью замкнутых металлических экранах.

Известно устройство для беспроводной индукционной передачи энергии [патент США №10778048, СПК H02J 50/60, H02J 50/10, H02J 50/12, H02J 50/90, опубл. 15.09.2020], позволяющее передавать электрическую энергию индукционным способом. Устройство включает передатчик с передающей катушкой и приемник с приемной катушкой.

Известны метод, система и устройство для беспроводной передачи энергии [патент США №11108280, СПК H02J 50/80, H02J 5/005, H02J 7/025, H02J 50/12, опубл. 31.08.2021]. Устройство позволяет передавать электрическую энергию индукционным способом, включает передатчик с передающей катушкой и приемник с приемной катушкой.

Наиболее близким аналогом по совокупности существенных признаков является устройство для передачи энергии, входящее в систему для передачи энергии [патент США №2012/0001493, МПК H01F 38/14, опубл. 05.01.2012 (прототип)]. Устройство позволяет передавать электрическую энергию индукционным способом, включает передатчик с передающей катушкой и приемник с приемной катушкой. Устройство дополнительно содержит схемы обнаружения посторонних предметов, в том числе металлических, и схемы адаптивной регулировки параметров приемника и передатчика для повышения эффективности всей системы. Система может работать на частотах в диапазоне от десятков килогерц до десятков мегагерц.

Недостатками известных конструкций и конструкции-прототипа являются невозможность передачи электрической энергии через проводящие экраны и неспособность работы на промышленных частотах (50/60 Гц).

Техническим результатом заявленного решения является обеспечение возможности передачи электрической энергии на промышленной частоте (50/60 Гц) через проводящий экран.

Заявляемый технический результат достигается тем, что в устройстве для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран, включающем передатчик электрической энергии с передающей катушкой, приемник электрической энергии с приемной катушкой, *новым является то, что* между передающей и приемной катушками расположен проводящий электрический ток экран, толщина которого меньше глубины скин-слоя в нем для заданной рабочей частоты, параллельно передающей и приемной катушкам подключены конденсаторы, при этом катушки и конденсаторы образуют связанные колебательные контуры, а передача электрической энергии осуществляется на одной из резонансных частот, на которой разность фаз между фазами токов, текущих в приемной и передающей катушках, находится в диапазоне от 160° до 180°.

Сопоставительный анализ с прототипом показывает, что заявляемое устройство отличается наличием проводящего электрический ток экрана, расположенного между передающей и приемной катушками. При этом важно, что толщина проводящего экрана выбирается меньшей, чем глубина скин-слоя в нем для заданной рабочей частоты устройства.

Другим существенным отличием является то, что передача электрической энергии осуществляется на одной из резонансных частот системы связанных колебательных

контуров, причем существенно, что на этой резонансной частоте разница между фазами токов, текущих в приемной и передающих катушках, находится в диапазоне от 160° до 180° .

Таким образом, перечисленные выше отличительные от прототипа признаки позволяют сделать вывод о соответствии заявляемого технического решения критерию «новизна».

Признаки, отличающие заявляемое техническое решение от прототипа, не выявлены в других технических решениях и, следовательно, обеспечивают заявляемому решению соответствие критерию «изобретательский уровень».

Данное изобретение поясняется чертежами. На фиг. 1 изображен эскиз устройства для передачи электрической энергии токов промышленной частоты через проводящий экран, на фиг. 2 – его электрическая принципиальная схема. На фиг. 3–9 показаны зависимости электрических и механических характеристик катушек устройства от числа витков и диаметра. На основе приведенных графиков выбираются конкретные параметры устройства при его реализации на практике. На фиг. 10 показаны обобщающие зависимости, построенные на основе данных фиг. 3–9. Цветом на фиг. 10 закрашена область «работа», внутри которой обеспечивается работа устройства с заданными параметрами. На фиг. 11 показаны зависимости массы одной катушки и параметра связи от числа витков и диаметра катушки. На фиг. 12–15 показаны зависимости параметров устройства от числа витков и диаметра катушки, в том числе КПД устройства (фиг. 15). На фиг. 16 показан вертикальный разрез трехмерной электродинамической модели устройства, а на фиг. 17 – результаты численного расчета.

Устройство для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран содержит (фиг. 1) проводящий экран (1), с одной из сторон которого размещен передатчик (2) электрической энергии, а с другой – приемник (3). К выходу передатчика (2) подключена передающая катушка (4), а вход приемника (3) соединен с приемной катушкой (5). На фиг. 2 показана электрическая принципиальная схема устройства, включающего передающий колебательный контур (6) и индуктивно связанный с ним приемный колебательный контур (7). Колебательные контуры (6) и (7) включают сосредоточенные емкости (8) и (9), индуктивности (10) и (11) катушек (4) и (5), эквивалентные сопротивления (12) и (13) потерь катушек (4) и (5). Источник электрической энергии (14) с внутренним сопротивлением (15) подключен к передающему колебательному контуру (6). Приемный колебательный контур (7) нагружен на сопротивление (16) нагрузки. Поскольку индуктивно связанные колебательные контуры (6) и (7) расположены с разных сторон проводящего экрана (1), а также из-за низкой рабочей частоты системы передачи энергии (50/60 Гц), важно выбрать оптимальные параметры передающей (4) и приемной (5) катушек. К исходным параметрам катушки относят диаметр и материал провода, параметры его изоляции (толщина и диэлектрические свойства), количество витков, способ намотки и диаметр намотки. Расчетными параметрами являются индуктивность катушки, межвитковая паразитная емкость катушки и частотно-зависимое сопротивление потерь, складывающееся из потерь на постоянном токе, потерь вследствие поверхностного эффекта (скин-эффект) и потерь вследствие вихревых токов (токи Фуко, эффект близости). Для круглых катушек с квадратным сечением из медного провода диаметром 5 мм (диаметр с изоляцией 5,2 мм, относительная диэлектрическая проницаемость изоляции 3,75) на фиг. 3–9 приведены зависимости электрических и механических характеристик в зависимостях от числа витков и диаметра внутреннего ряда витков катушки. Для получения максимального КПД устройства необходимо стремиться к

максимально допустимым размерам катушек и числу витков. На практике максимальные значения этих параметров ограничены двумя факторами: влиянием собственного резонанса катушек и их массой. На фиг. 3 приведены зависимости собственной резонансной частоты одной катушки, исходя из которых определяют максимально возможные число витков и диаметр. Например, для катушки с диаметром внутреннего ряда витков 20 м, максимальное число витков для собственной резонансной частоты 100 Гц составит 1500. На фиг. 4 показаны зависимости массы одной катушки, из которых видно, что катушки с частотой собственного резонанса 100 Гц имеют массу более 10 т. Таким образом, исходя из технических требований к системе передачи электрической энергии определяют максимально возможные габариты и число витков катушек. Далее рассчитывают следующие параметры катушек: индуктивности L (фиг. 5), активные сопротивления R (фиг. 6) на рабочей частоте f , добротности $2\pi fL/R$ (фиг. 7), коэффициент связи (приведен на фиг. 8 для расстояния между внутренними сторонами катушек 15 мм) без проводящего экрана (1), параметр связи Qk (фиг. 9). Для увеличения КПД устройства необходимо увеличивать значение параметра связи Qk , что ограничивает минимальные диаметр и число витков катушек. На основании зависимостей, показанных на фиг. 3–9, на фиг. 10 построены обобщающие графики, ограничивающие «рабочую» область устройства. Минимальное значение коэффициента связи катушек k выбрано равным 0,8. На фиг. 11 на одном графике показаны зависимости массы катушки и параметра связи Qk от диаметра внутреннего ряда и числа витков катушки. Видно, что при постоянной массе катушки выгоднее увеличивать диаметр катушки и уменьшать число витков для получения наибольшего значения параметра связи. На фиг. 12 показаны величины емкостей (8) и (9) для каждого колебательного контура (6) и (7), при которых наступает такой резонанс в системе связанных контуров, когда на рабочей частоте разность фаз токов в катушках (4) и (5) $\Delta\Phi = 160^\circ \dots 180^\circ$. Величины характеристических сопротивлений колебательных контуров (6) и (7) показаны на фиг. 13. На фиг. 14 показаны величины сопротивлений (15) источника (14) и нагрузки (16), при которых разница фаз между токами в передающей катушке (4) и приемной катушке (5) равна 174° . Для упрощения математической модели сопротивление (15) источника (14) выбрано равным сопротивлению (16) нагрузки. При необходимости, сопротивления могут быть согласованы с колебательными контурами (6) и (7) частичным включением емкостных или индуктивных элементов. На фиг. 15 показаны зависимости КПД системы связанных колебательных контуров без проводящего экрана (1). На основании этих зависимостей определяют максимально достижимый КПД устройства, который на практике будет снижен за счет влияния проводящего экрана (1). Толщина экрана (1) не должна превышать глубину скин-слоя на частоте 50/60 Гц. Например, для проводящего экрана (1) из алюминия глубина скин-слоя на частоте 50 Гц составит 11,6 мм, для медного – 9,2 мм. При необходимости параметры системы уточняют с помощью численного электродинамического моделирования или в процессе макетирования.

Устройство для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран работает следующим образом (фиг. 2). Источник электрической энергии (14) с сопротивлением (15) возбуждает колебания в индуктивно связанных колебательных контурах (6) и (7), катушки (4) и (5) которых (фиг. 1) находятся с разных сторон проводящего экрана (1). Параметры колебательных контуров (6) и (7) выбраны таким образом, что на промышленной частоте 50/60 Гц в связанных контурах наблюдается резонанс, причем разница фаз токов в катушках (4) и (5) $\Delta\Phi = 170^\circ \dots 180^\circ$. Так как между катушками (4) и (5) находится проводящий экран (1), в

нем возбуждаются и взаимодействуют формируемые двумя катушками (4) и (5) вихревые токи (токи Фуко), при этом важно, что толщина экрана не превышает глубину скин-слоя. Поскольку токи в катушках (4) и (5) практически противофазны, то возбуждаемые ими вихревые токи в проводящем экране (1) также противофазны и практически полностью компенсируют друг друга, за счет чего удается передавать электрическую энергию от источника (14) к сопротивлению (16) нагрузки. Таким образом обеспечивается заявляемый технический результат – возможность передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран.

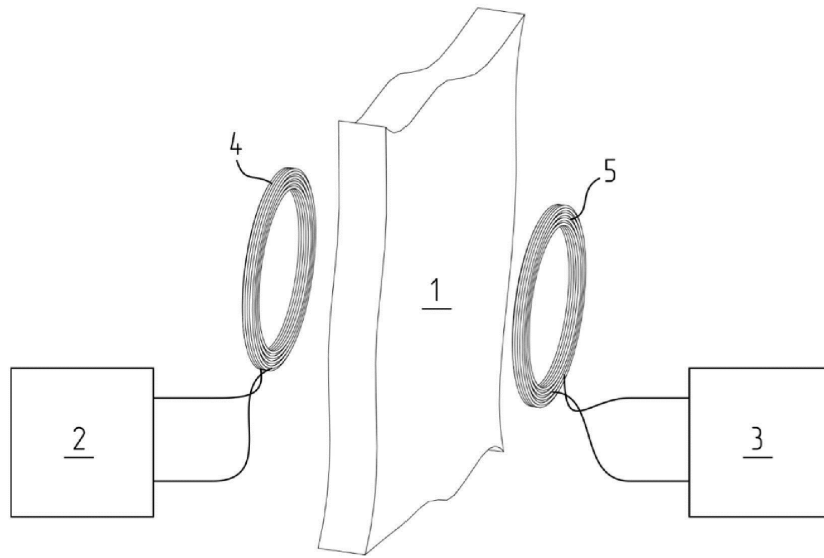
Для проверки корректности аналитических расчетов была создана численная электродинамическая трехмерная модель (на фиг. 16 показан вертикальный разрез 3D-модели). Размеры проводящего экрана (1) – $2 \times 2 \text{ м}^2$, толщина 5 мм. Диаметр медного провода катушек (4) и (5) без изоляции – 5 мм, с изоляцией – 5,2 мм. Число витков в каждой катушке (4) и (5) – $32 \times 32 = 1024$, расстояния между центрами витков равны диаметру провода с изоляцией – 5,2 мм. Внутренний диаметр катушек (4) и (5) – 994,8 мм, внешний – 1327,6 мм, сечение – $166,4 \times 166,4 \text{ мм}^2$. Расстояние между ближайшими сторонами катушек (4) и (5) – 15 мм. Масса каждой катушки (4) и (5) – около 650 кг. Величины емкостей (8) и (9) – по 15,41 мкФ, внутреннее сопротивление (15) источника (14) электрической энергии равно сопротивлению нагрузки (16) и составляет 1,5 кОм. При этом резонансные частоты системы колебательных контуров (6) и (7) составили приблизительно 26 и 50 Гц, а разница фаз между токами в индуктивностях (10) и (11) на частоте 50 Гц составляет 174° . Результаты моделирования для различных величин проводимости проводящего экрана (1) показаны на фиг. 17. Видно, что для проводящего экрана (1) с проводимостью 10^8 См/м (проводимость меди $6 \cdot 10^7 \text{ См/м}$) затухание составит около 7 дБ. Таким образом, продемонстрирована возможность передачи электрической энергии на промышленной частоте (50/60 Гц) через проводящий медный экран толщиной 5 мм. Максимальная толщина экрана приблизительно равна глубине скин-слоя в выбранном материале на рабочей частоте.

(57) Формула изобретения

Устройство для передачи электрической энергии на промышленной частоте через проводящий экран, включающее передатчик электрической энергии с передающей катушкой, приемник электрической энергии с приемной катушкой, отличающееся тем, что между передающей и приемной катушками расположен проводящий электрический ток экран, толщина которого меньше глубины скин-слоя в нем для заданной рабочей частоты, параллельно передающей и приемной катушкам подключены конденсаторы, при этом катушки и конденсаторы образуют связанные колебательные контуры, а передача электрической энергии осуществляется на одной из резонансных частот, на которой разница между фазами токов, текущих в приемной и передающей катушках, находится в диапазоне от 160° до 180° .

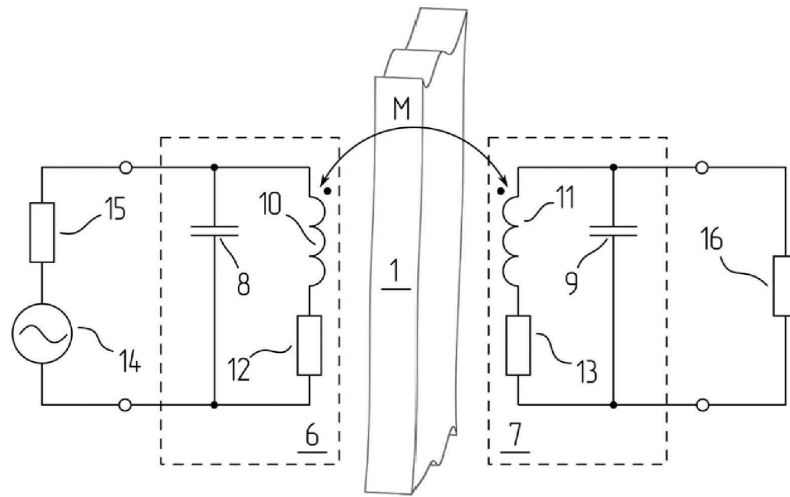
1

1/17

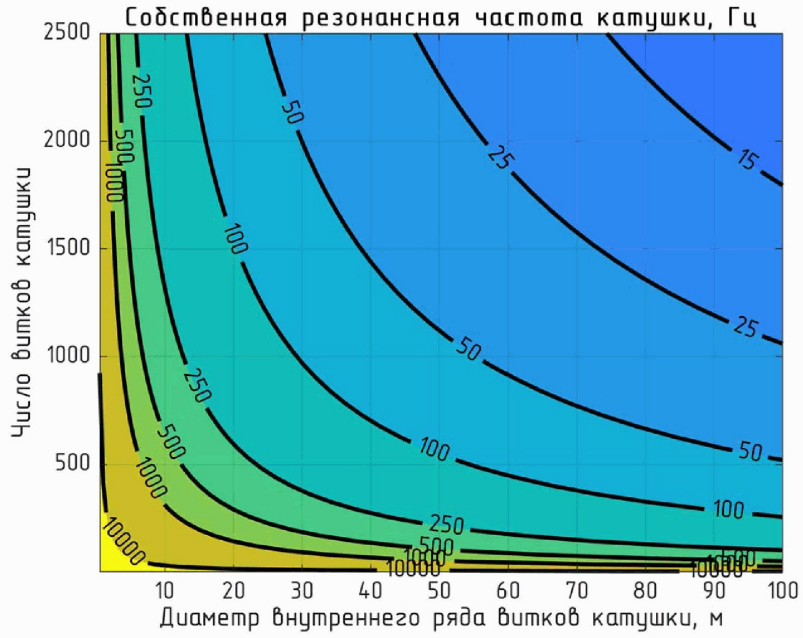


Фиг. 1

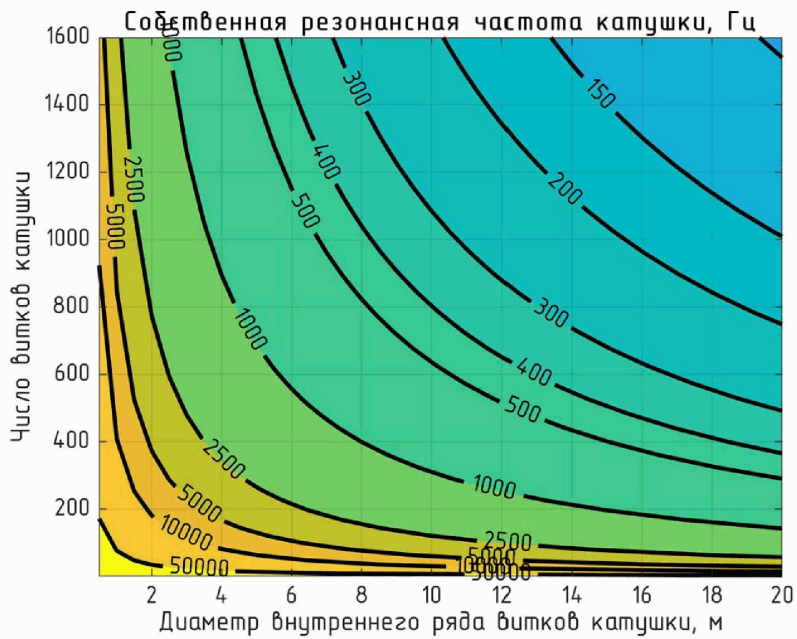
2



Фиг. 2

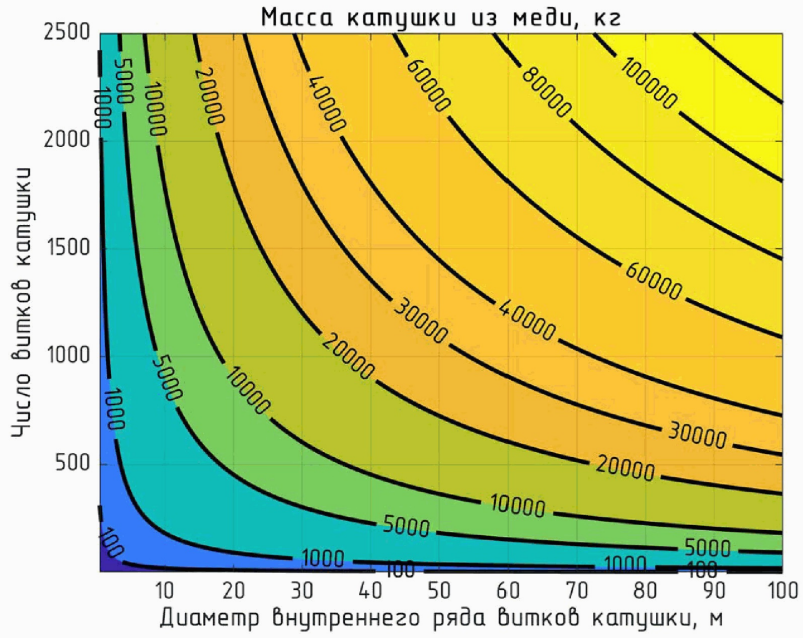


а)

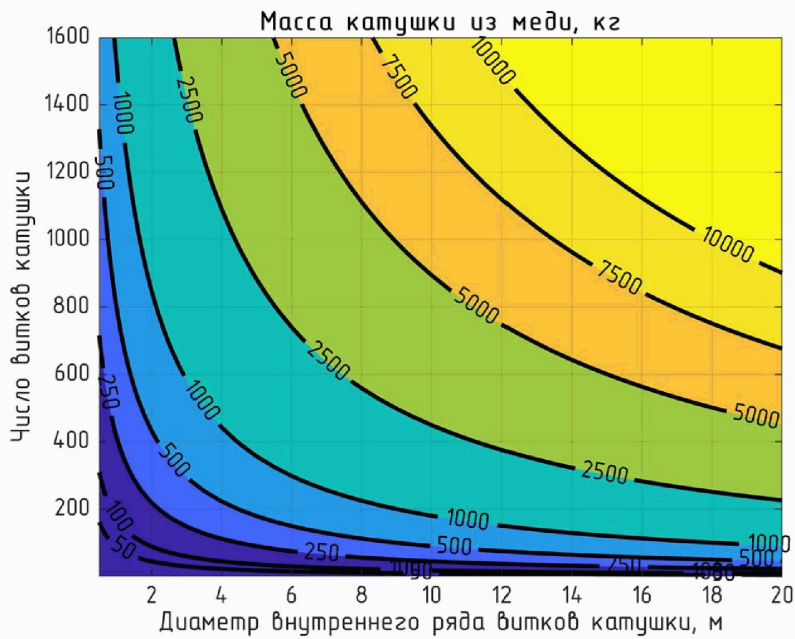


б)

Фиг. 3

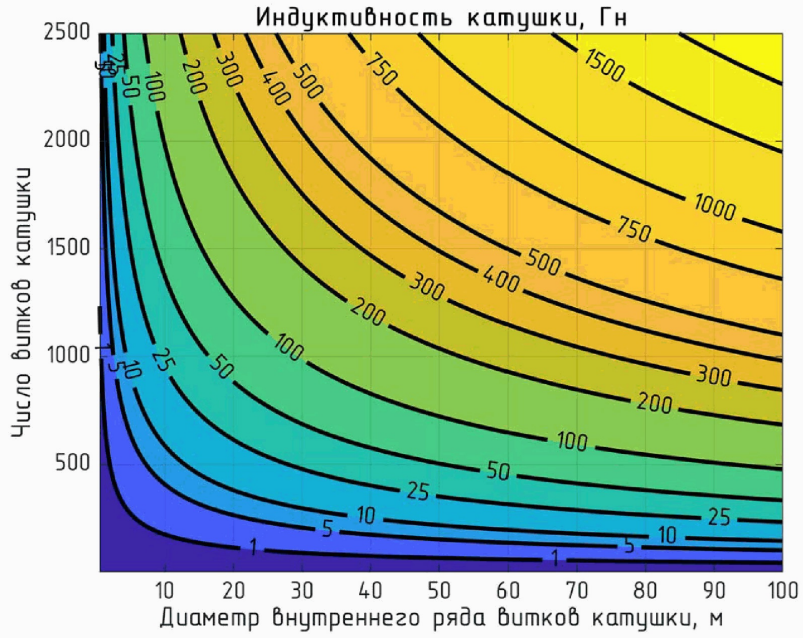


а)

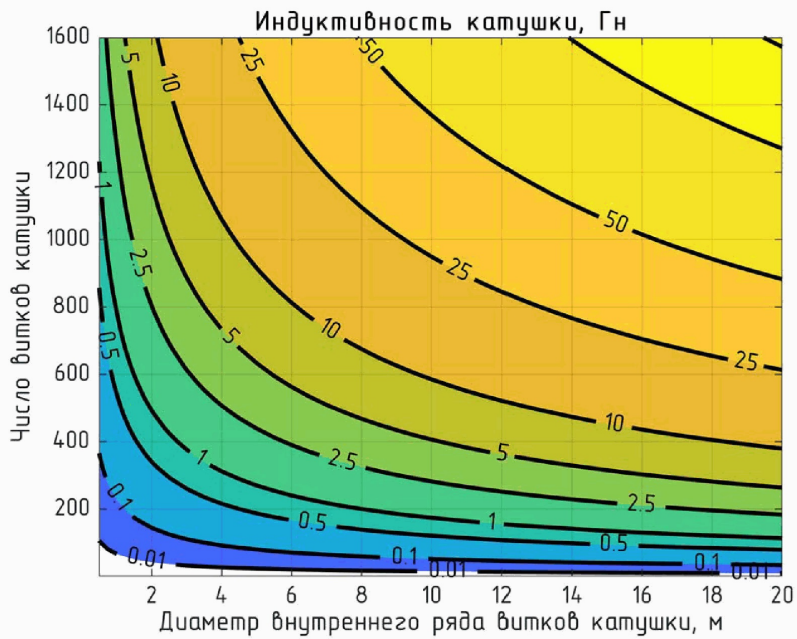


б)

Фиг. 4

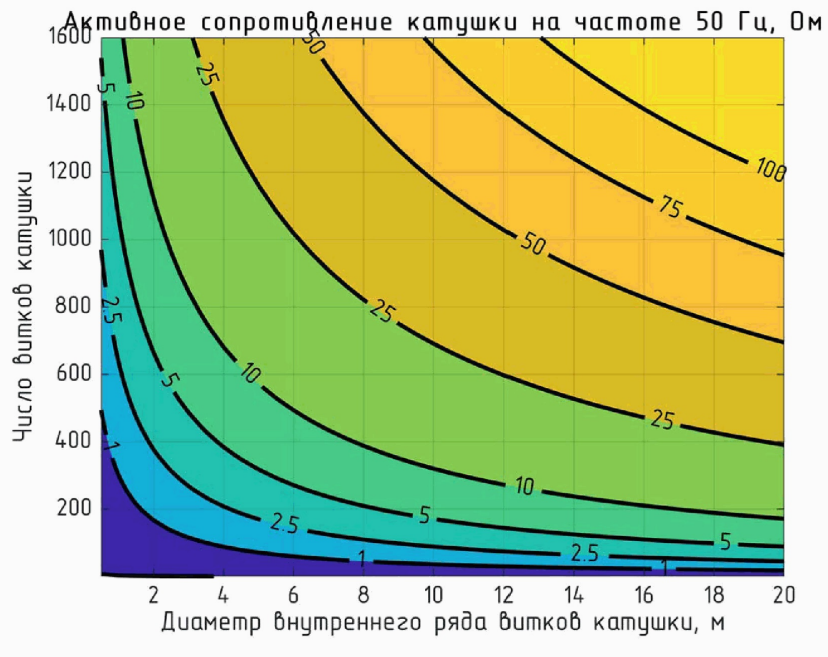
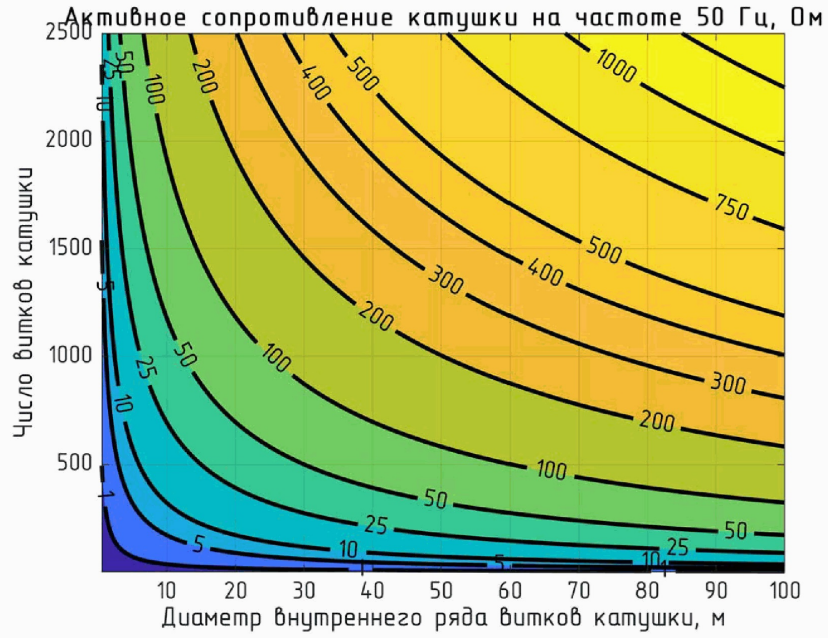


а)



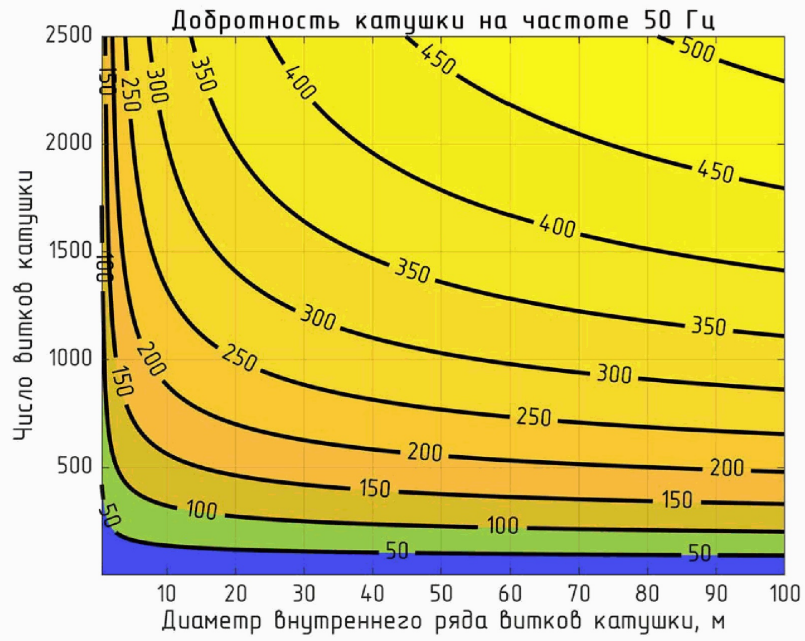
б)

Фиг. 5

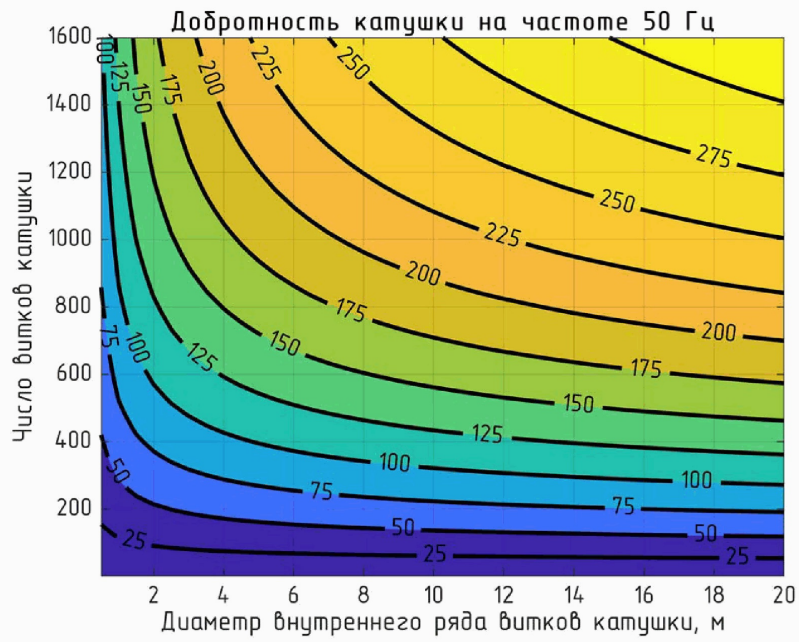


Фиг. 6

7/17

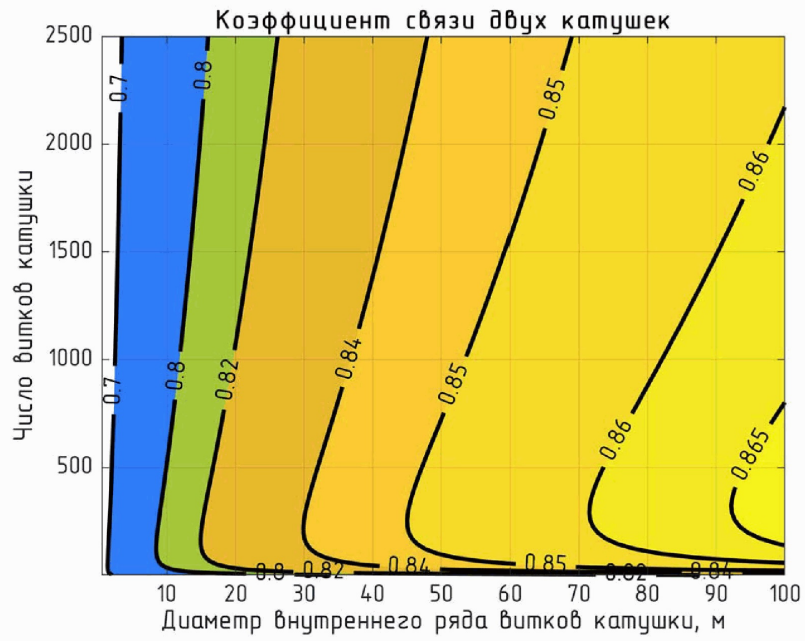


а)

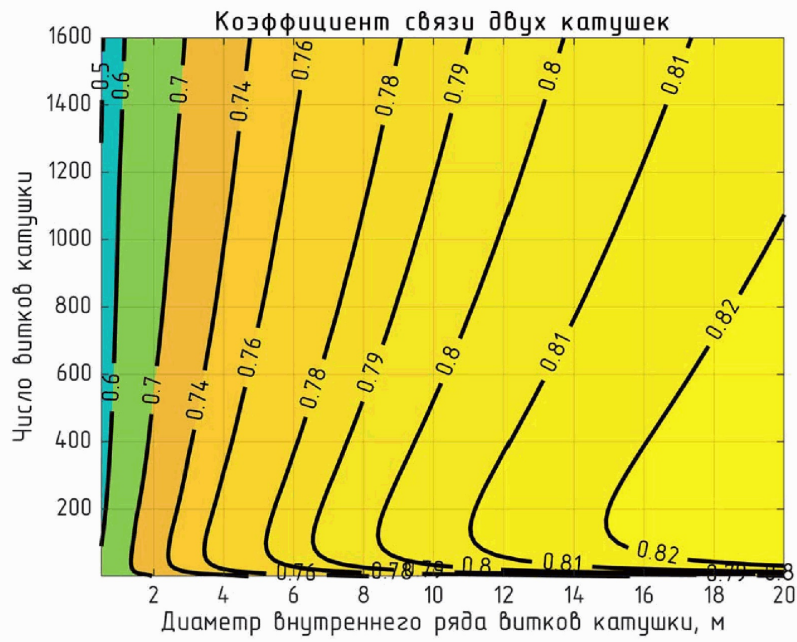


б)

Фиг. 7



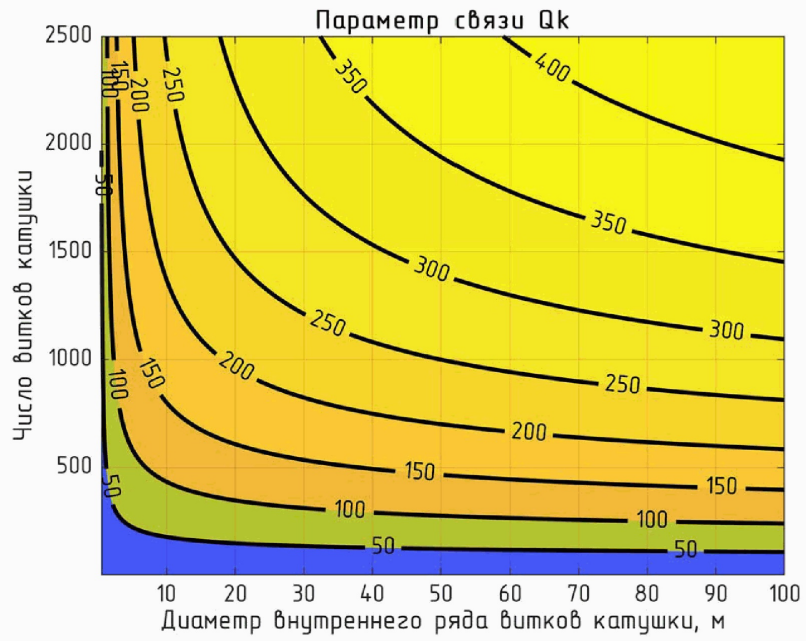
а)



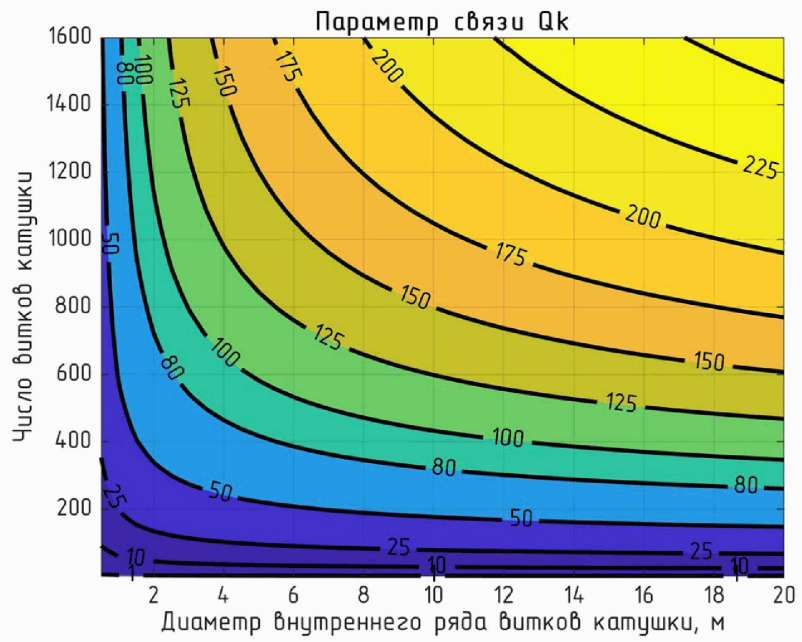
б)

Фиг. 8

9/17

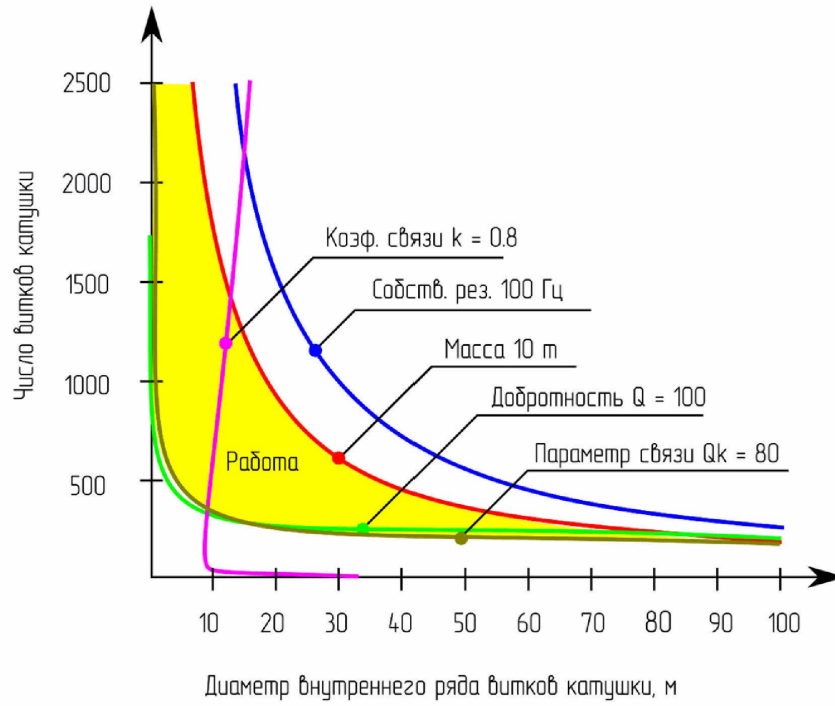


а)

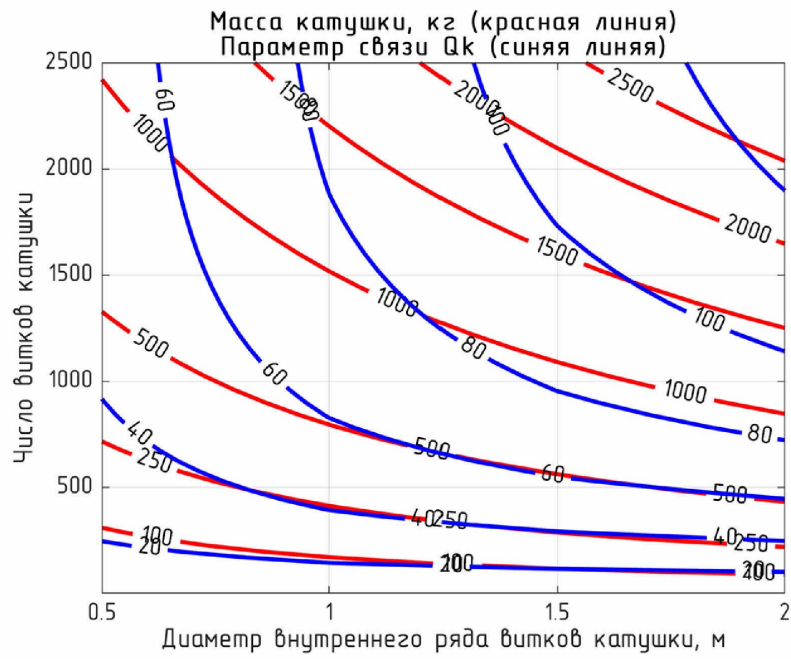


б)

Фиг. 9

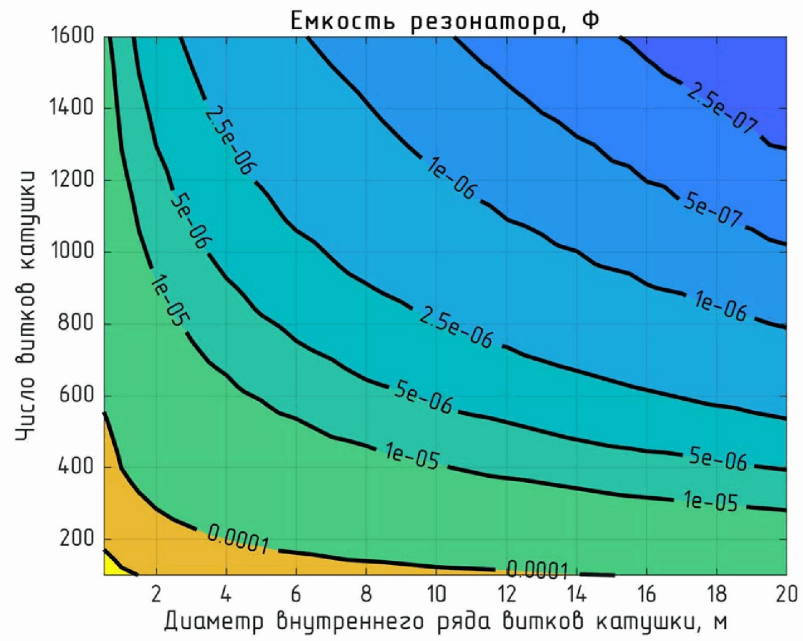


Фиг. 10

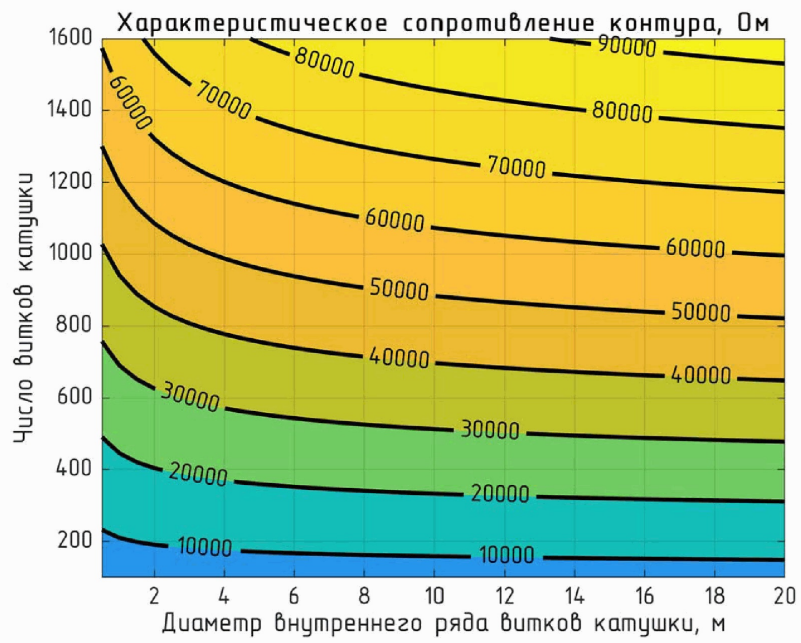


Фиг. 11

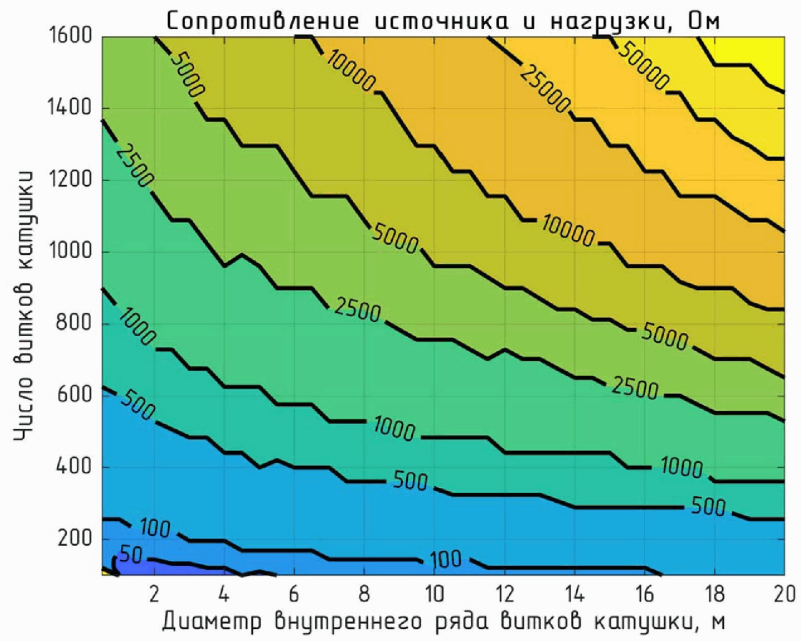
12/17



Фиг. 12

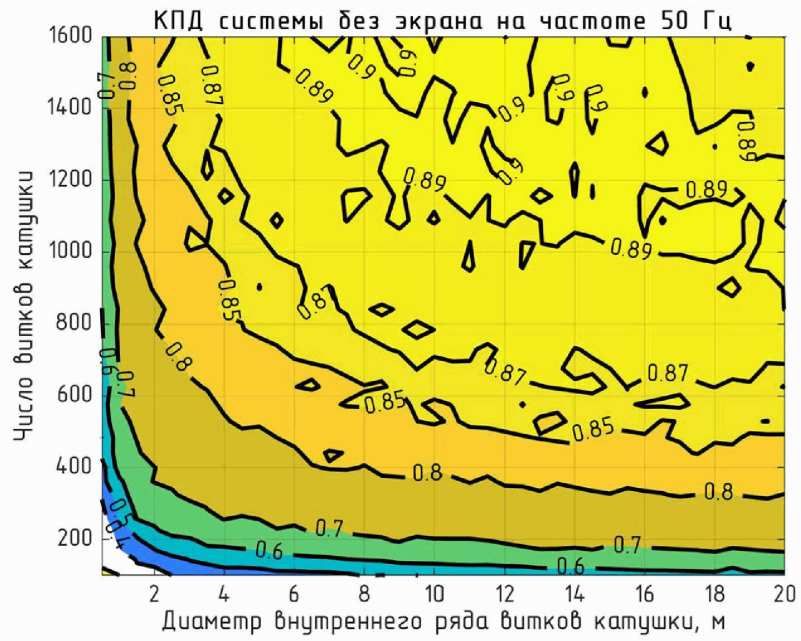


Фиг. 13

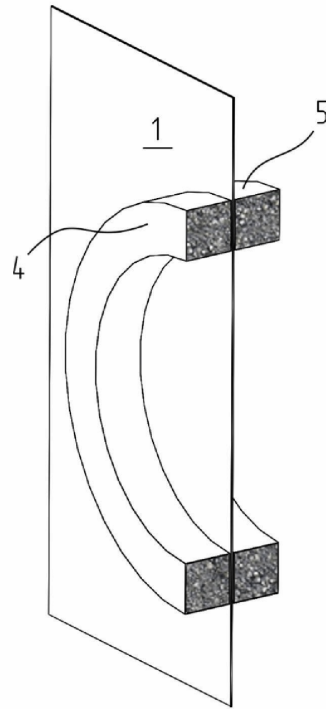


Фиг. 14

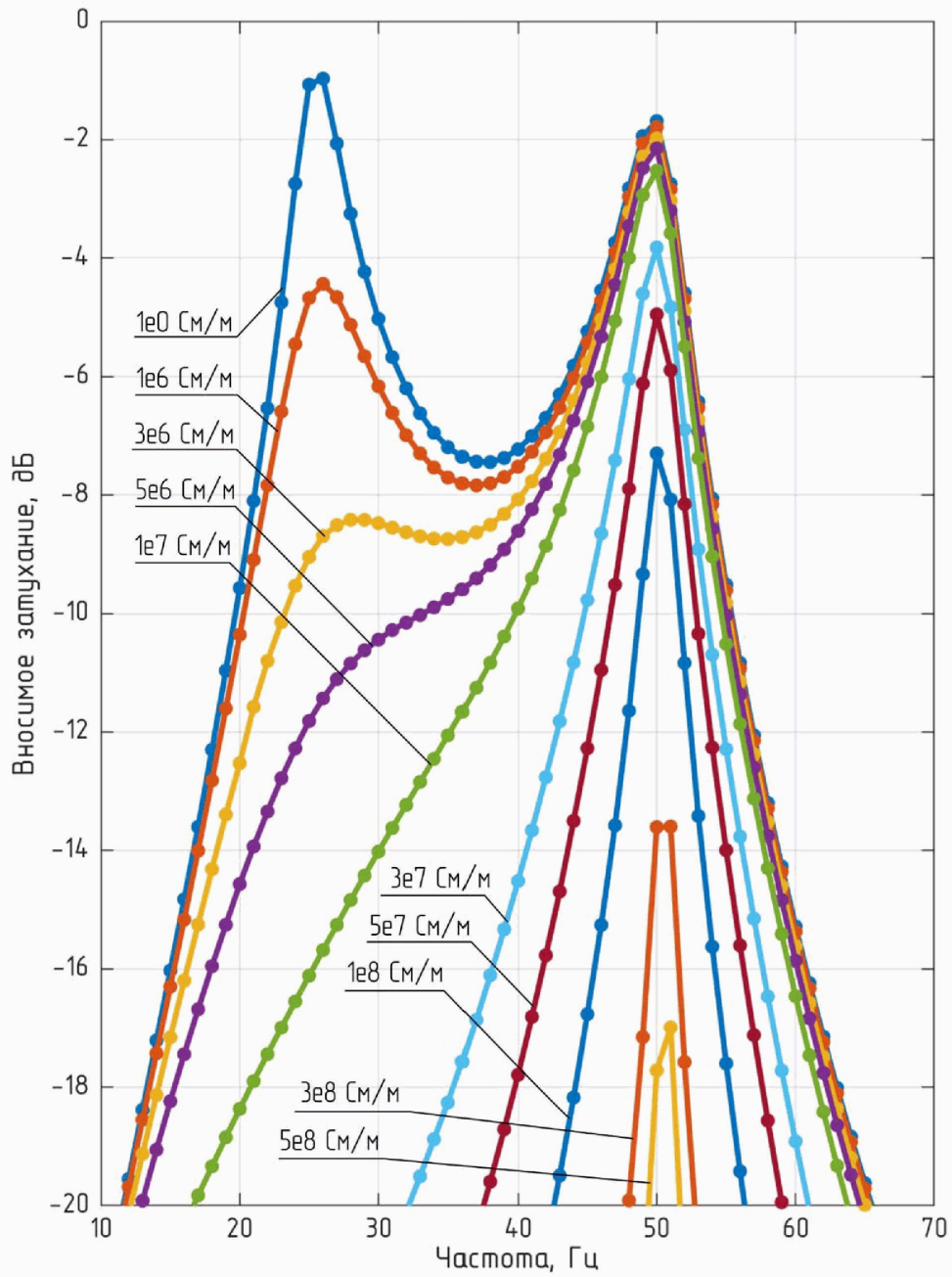
15/17



Фиг. 15



Фиг. 16



Фиг. 17