



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013121850/07, 13.05.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
13.05.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 13.05.2013

(45) Опубликовано: 27.11.2014 Бюл. № 33

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU1166248A1,07.07.1985A1.
SU1288872A,07.02.1987GB1563999A,02.04.1980

Адрес для переписки:

634055, г.Томск, пр. Академический, 2/3,
Институт сильноточной электроники СО РАН,
Зам. директора по НР ИСЭ СО РАН
Турчановскому И.Ю.

(72) Автор(ы):

Выходцев Павел Васильевич (RU),
Гунин Александр Владимирович (RU),
Ландль Владимир Федорович (RU),
Степченко Алексей Станиславович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Институт сильноточной
электроники Сибирского отделения
Российской академии наук (ИСЭ СО РАН)
(RU)

(54) СПОСОБ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАРЯДКИ ЕМКОСТНОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ

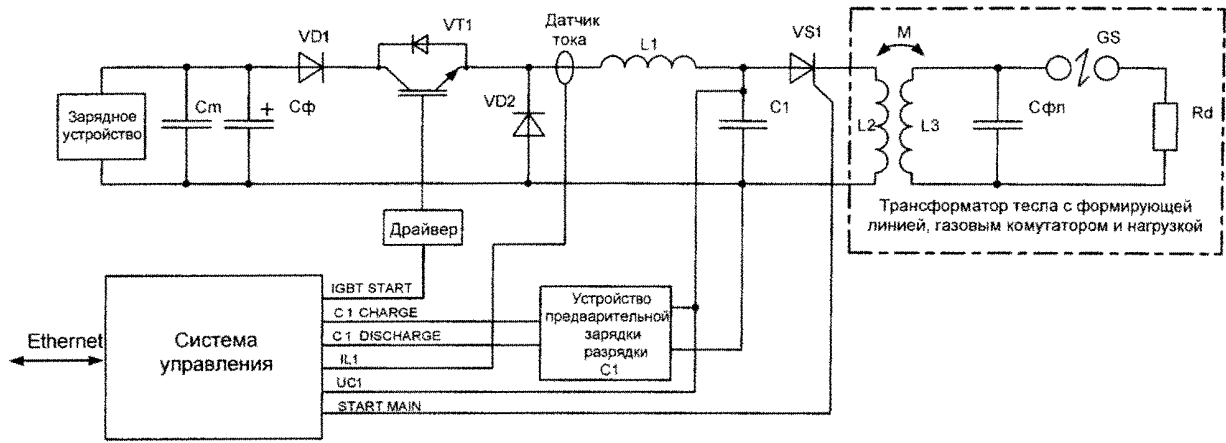
(57) Реферат:

Изобретение относится к импульсной технике. Техническим результатом является возможность зарядки емкостного накопителя от нестабилизированного источника питания до уровня напряжения, превышающего напряжение источника питания, а также возможность изменения уровня напряжения, до которого можно зарядить накопитель, в каждом цикле его зарядки-разрядки вне зависимости от начальных условий. Способ зарядки заключается в том, что источник внешней ЭДС подключают

управляемым ключом S к последовательному LCR контуру с диодом до момента времени, пока полная энергия, запасенная в контуре, с учетом линейной компенсации активных потерь, не достигнет величины, соответствующей заданному уровню напряжения на емкостном накопителе, после чего источник ЭДС отключают от контура ключом, и процесс зарядки завершается через диод в режиме свободных колебаний. 1 з.п. ф-лы, 4 ил.

RU 2 534 037 C1

RU 2 534 037 C1



Фиг. 2

RU 2534037 C1

RU 2534037 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2013121850/07, 13.05.2013

(24) Effective date for property rights:
13.05.2013

Priority:

(22) Date of filing: 13.05.2013

(45) Date of publication: 27.11.2014 Bull. № 33

Mail address:

634055, g.Tomsk, pr. Akademicheskij, 2/3, Institut sil'notochnoj ehlektroniki SO RAN, Zam. direktora po NR ISEh SO RAN Turchanovskomu I.Ju.

(72) Inventor(s):

Vykhodtsev Pavel Vasil'evich (RU),
Gunin Aleksandr Vladimirovich (RU),
Landl' Vladimir Fedorovich (RU),
Stepchenko Aleksej Stanislavovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe uchrezhdenie nauki Institut sil'notochnoj ehlektroniki Sibirskogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk (ISEh SO RAN) (RU)

(54) **PULSE CHARGING METHOD OF CAPACITIVE ENERGY STORAGE**

(57) Abstract:

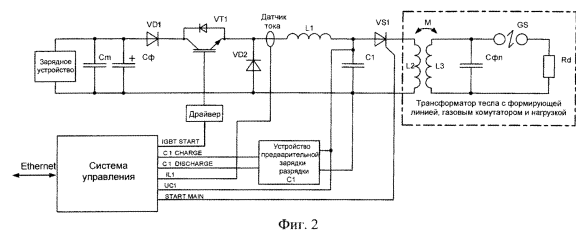
FIELD: electricity.

SUBSTANCE: external EMF source is coupled by the monitoring key S to in-series LCR-circuit with a diode until the moment when total energy stored in the circuit with consideration of active loss linear compensation reaches the value corresponding to the preset voltage level at the capacitive energy storage, thereupon the external ENF source is disconnected from the circuit by the key and charging process is completed through the diode in free oscillations regime.

EFFECT: possibility of the capacitive energy storage charging from a non-stabilised power supply source up to the level exceeding voltage of the supply source,

possibility to change level of voltage, which may be used for charging of the capacitive energy storage, in each cycle of its charge-discharge notwithstanding initial conditions.

2 cl, 4 dwg



Фиг. 2

RU 2 534 037 C1

RU 2 534 037 C1

Изобретение относится к импульсной технике и может быть использовано в источниках питания для заряда емкостных накопителей энергии до заданного уровня напряжения от нестабилизированного источника внешней ЭДС.

Известен способ [1], представляющий собой резонансный заряд емкостного накопителя, входящего в состав последовательного LCR-контура. При этом в зарядную цепь последовательно с дросселем включают диод либо тиристор, предотвращающие обратный разряд накопителя в источник питания. Использование тиристора вместо диода позволяет также управлять процессом начала зарядки. В случае резонансно-диодного заряда итоговое напряжение на емкостном накопителе после цикла зарядки будет всегда иметь максимальную величину, равную, в случае нулевых начальных условий, удвоенному значению напряжения источника питания. При всех преимуществах у данного способа существует один большой недостаток в виде сложности стабилизации и регулирования напряжения на емкостном накопителе, которое тесно связано как с напряжением источника питания, так и с начальным напряжением на емкостном накопителе. Для стабильной, регулируемой зарядки емкостного накопителя резонансным способом к внешнему источнику питания должны предъявляться повышенные требования, т.е. напряжение источника питания должно быть регулируемым и стабилизированным. В случае ненулевых и нестабильных от раза к разу начальных условий в виде остаточного напряжения на накопителе стабилизированный заряд накопителя становится невозможным.

Известен также способ [2], называемый последовательным стабилизатором понижающего типа. В данном способе, элементы схемы, а именно, накопитель, дроссель и диод, также представляют собой последовательный LCR контур, а внешний источник питания подключается к контуру полностью управляемым ключом параллельно диоду. В этом случае накачка энергии в LCR контур происходит тогда, когда управляемый ключ открыт. После закрывания ключа ток в контуре завершается через диод. Ключ управляется устройством управления, с помощью которого осуществляется стабилизация зарядного тока и напряжения на емкостном накопителе либо только напряжения. В данном способе зарядки используется широтно-импульсная модуляция для управления силовым ключом. Это означает, что период управляющих импульсов имеет фиксированное значение, а меняются лишь их длительность в зависимости от уровня сигнала обратной связи. Данный способ позволяет производить управляемую зарядку накопителя до заданного уровня напряжения. Однако при отрицательном начальном напряжении на накопителе процесс зарядки становится неуправляемым. Также к недостаткам указанного способа можно отнести невозможность зарядки накопителя до уровня, превышающего напряжение источника питания. Оба этих ограничения существенно снижают возможности использования данного способа.

Задачей, решаемой предлагаемым изобретением, является создание способа зарядки, позволяющего заряжать емкостной накопитель с любого начального уровня напряжения произвольного знака до заданного уровня, который может быть как меньше, так и больше напряжения источника питания, а также повышение надежности устройства, осуществляющего этот способ, в связи с отсутствием высокочастотных электромагнитных помех при работе силового ключа.

Технический результат от использования предлагаемого способа заключается в возможности зарядки емкостного накопителя с любого начального уровня напряжения, в том числе противоположного знака, до любого уровня, превышающего напряжение источника питания.

Указанный технический результат в предлагаемом способе достигается тем, что, как

и в известном, импульсная зарядка емкостного накопителя энергии до заданного уровня напряжения в последовательном LCR контуре с диодом и управляемым ключом, осуществляется путем зарядки емкостного накопителя от внешнего источника ЭДС в режиме свободных колебаний LCR контура, образуемого емкостным накопителем, зарядным дросселем и диодом.

Новым является то, что источник внешней ЭДС подключают к контуру управляемым ключом до момента времени, пока полная энергия, запасенная в контуре, с учетом линейной компенсации активных потерь, не достигнет величины, соответствующей заданному уровню напряжения на емкостном накопителе, после чего источник ЭДС отключают от контура, и процесс зарядки завершается через диод в режиме свободных колебаний.

Кроме того, предлагаемый способ позволяет минимизировать погрешность зарядного напряжения на накопителе путем линейной аппроксимации активных потерь в зарядном контуре за временной интервал с момента отключения источника ЭДС от контура до завершения процесса зарядки. Компенсация потерь осуществляется введением поправки, которая линейно зависит от протекающего тока.

На Фиг. 1 представлена схема, на основе которой реализован данный способ зарядки.

Схема содержит последовательный LCR-контур, который образуют емкостной накопитель 1, дроссель 2, активное сопротивление дросселя 3 и диод 4. С помощью управляемого ключа 5 к контуру подключается внешний источник питания 6. Ток в контуре измеряется датчиком тока 7. Система управления ключом состоит из функциональных блоков 8, 9, 10, 11.

Способ зарядки реализуется следующим образом. Управляемый ключ подключается к источнику внешней ЭДС в момент времени $t=0$. В этот момент времени, в контуре, образованном конденсатором, дросселем, активным сопротивлением и диодом, протекает ток произвольного значения $I_L(0)$, а на конденсаторе имеется произвольное напряжение $U_C(0)$. Ключ остается подключенным к источнику ЭДС в течение времени T_S до тех пор, пока выполняется условие:

$$\frac{CU_C^2(t)}{2} + \frac{LI_L^2(t)}{2} \leq \frac{CU_0^2}{2} + \Delta \quad (1)$$

где U_0 - заданный уровень напряжения, Δ - параметр, характеризующий активные потери в контуре от момента закрывания ключа $t=t_{\text{off}}$ до момента завершения колебаний в LCR контуре T_{end} :

$$\Delta = R \cdot \int_{t=t_{\text{off}}}^{T_{\text{end}}} I_L^2(t) dt \approx \frac{L}{2} (I(t_{\text{off}}) \cdot k_R)^2, \quad (2) \text{ при}$$

$k_R \ll 1$. Линейный учет активных потерь (2) с достаточной степенью точности справедлив для широкого диапазона токов и напряжений в LCR контуре при условии его умеренно высокой добротности: $Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}} \geq 6$. Когда перестает выполняться условие (1), ключ закрывается, и процесс зарядки завершается через диод в режиме свободных колебаний. Таким образом, после завершения процесса зарядки, полная энергия, запасенная в LCR контуре, будет полностью сосредоточена в емкостном накопителе, заряженном до уровня необходимого заданного напряжения U_0 .

Работа ключа управляется схемой, состоящей из функциональных блоков 8, 9, 10,

11, в которую приходят сигналы обратной связи $I_L(t)$ и $U_C(t)$. В функциональных блоках 8 и 9 выполняется преобразование аналоговых сигналов в соответствующие цифровые значения. Блок 10, в режиме реального времени, производит расчет суммы энергий, запасаемых в индуктивности L и конденсаторе C по следующим формулам: $E_C(t) = \frac{C \cdot U_C^2(t)}{2}$ - энергия, запасаемая в конденсаторе.

$E_L(t) = \frac{L \cdot [I_L(t) \cdot (1 - k_R)]^2}{2}$ - энергия, запасаемая в индуктивности 4 с линейной корректировкой активных потерь согласно (2).

Функциональный блок 11 является схемой сравнения, в которой, в каждый момент времени, осуществляется сравнение полной запасаемой в LCR контуре энергии $E_C + E_L$, с предустановленной величиной энергии E_{set} , которую в итоге должен запасти емкостной

накопитель, при зарядке до заданного уровня U_0 : $E_{set} = \frac{C \cdot U_0^2}{2}$. Итоговое уравнение

состояния ключа, реализуемое модулем, выглядит следующим образом:

$$Ключ = \begin{cases} \text{открыт} : ((E_C + E_L) < E_{set}) \& \text{flagS} \\ \text{закрыт} : (E_C + E_L) \geq E_{set} \rightarrow (\text{flagS} = \text{FALSE}) \end{cases} \quad (3)$$

Параметр $flagS$ является логическим триггером и взводится в момент старта ключа.

Представляемый способ зарядки емкостного накопителя до заданного уровня напряжения U_0 требует выполнения следующих условий для начальных значений тока $I_L(0)$, напряжения $U_C(0)$ и внешней ЭДС $U_E(0)$ в момент старта ключа $t=0$:

$$CU_C^2(0) + LI_L^2(0) < CU_0^2 + \Delta$$

$$U_E(0) > U_C(0)$$

Если $I_L(0) \approx 0$, то напряжение, до которого возможно зарядить накопитель C , в предельном случае, удовлетворяет условию: $U_C(0) < U_0 < 2 \cdot U_E(0) - U_C(0)$.

Момент старта ключа устанавливается относительно завершения потребления энергии из накопителя C и выбирается из соображений возможного диапазона динамического изменения значения U_0 , диапазона изменения величины внешней ЭДС, диапазона возможных флуктуаций начального уровня $U_C(0)$ в области значений напряжений противоположного знака и оптимальной эффективности зарядки в этом случае.

Предлагаемый способ импульсной зарядки реализован в схеме зарядки первичного накопителя импульсно-периодического ускорителя «СИНУС» [3], которая приведена на Фиг.2. Характерной особенностью данной установки является то, что потребление энергии, запасенной в накопителе $C1$, осуществляется за время много меньше времени процесса зарядки $C1$, и, как правило, после закрывания основного тиристорного ключа $VS1$ напряжение на емкости $C1$ имеет противоположный знак. Схема зарядки на основе данного способа является нечувствительной к знаку и величине начального уровня напряжения на емкости $C1$ и позволяет заряжать первичный накопитель ускорителя с высокой точностью до установленного уровня напряжения из диапазона 200-540В с частотой работы ускорителя до 300 Гц при питании ускорителя от сети или от емкостной батареи. Напряжение первичного накопителя $C1$ остается стабилизированным, на уровне 2%, при возможном изменении питающего напряжения более чем в 2 раза. Параметры реализованной схемы были следующие: емкость первичного накопителя $C1$ составляла 1200 мкФ, индуктивность зарядного дросселя $L1$ - 560 мкГн. В качестве

управляемого ключа VT1 и диода VD2 использовался модуль МДТКИ 800-12. Диод VD1 предотвращал обратный разряд накопителя в источник питания через встроенный диод обратного тока транзистора в случае, когда напряжение на накопителе превышает напряжение источника питания. Конденсаторы Сф и Ст образуют фильтр и промежуточный накопитель энергии. В качестве промежуточного накопителя Ст использовался молекулярный конденсатор МНЭ-1-350, емкостью 1 Ф и напряжением до 330 В, который, в свою очередь, заряжался от питающей сети маломощным зарядным устройством. Использование промежуточного накопителя позволяло реализовать работу ускорителя от маломощной питающей сети в пачечном режиме.

Расчет энергии на основании сигналов обратной связи и управление силовым ключом VT1 выполняются микропроцессором системы управления в режиме реального времени. Период дискретизации АЦП для сигналов тока $I_{L1}(t)$ и напряжения $U_{C1}(t)$ составлял 5 мкс (200 кГц). Расчет энергии в контуре и ее сравнение с заданной величиной также проводился в рамках этого периода. Выключение силового ключа, с временным джиттером в 5 мкс, позволяло обеспечить зарядку накопителя С1 с точностью 2% при различных уровнях предустановленного напряжения из диапазона 250-450 В.

На Фиг.3 представлены осциллограммы тока и напряжения в зарядном контуре L1-С1 во время процесса зарядки С1 до заданного напряжения 300 В при различных значениях исходного уровня напряжения на фильтре Сф,

где T_0 - момент открытия тиристора VS1 и срабатывания разрядника GS: потребление энергии из емкости С1.

$T_0 \div T_d$ - протекание тока через диод VD2.

T_d - момент открытия транзистора VT1 и закрытия диода VD2.

T_{i0} - время открытого состояния транзистора VT1 и накачки энергии в контур L1-С1.

T_{end} - завершение процесса зарядки в режиме свободных колебаний. Ускоритель готов к следующему рабочему циклу.

На фиг.4 показана стабилизация напряжения зарядки С1 на уровне 450 В при работе ускорителя от конденсаторного накопителя Ст,

где U_f - напряжение на фильтре Сф при разрядке накопителя Ст; $|U_{rec}|$ - абсолютное значение напряжения на накопителе после открывания тиристора и срабатывания разрядника GS. U_{c1} - напряжение на емкостном накопителе после процесса зарядки.

Как видно из графиков на фиг.3 и фиг.4, предложенный способ в отличие от аналогов позволяет заряжать емкостной накопитель с отрицательного начального уровня напряжения до заданного уровня, превышающего напряжение источника питания.

Также из графика на фиг.4 видно, что предложенный способ позволяет с минимальной погрешностью заряжать емкостной накопитель даже в тех случаях, когда напряжение на промежуточном накопителе и фильтре плавно уменьшается во время «пачки» приблизительно на 25-30%, а также от импульса к импульсу изменяются начальные условия в виде нестабильного напряжения $|U_{rec}|$.

КПД схемы зарядки оценивался как отношение мощности, потребляемой из накопителя С1 к мощности, потребляемой из накопителя Ст. При разрядке накопителя Ст величина КПД составила 94-89%.

Источники информации

1. Опре В. Индуктивный заряд емкостных накопителей. // Силовая электроника. 2006. №4

2. Семенов Б.Ю. Силовая электроника. От простого к сложному. М: СОЛОН-Пресс, 2005. - 416 с.

3. Ельчанинов А.С, Загулов Ф.Я., Коровин С.Д., Ландль В.Ф., Лопатин В.В., Месяц Г.А. (1983). Ускорители сильноточных электронных пучков с высокой частотой повторения импульсов. Сильноточные электронные пучки в технологии, Новосибирск: Наука. 1983, с.5-21.

5

Формула изобретения

1. Способ импульсной зарядки емкостного накопителя энергии до заданного уровня напряжения в последовательном LCR контуре с диодом и управляемым ключом, заключающийся в том, что зарядка емкостного накопителя от внешнего источника ЭДС осуществляется в режиме свободных колебаний последовательного LCR контура, образуемого емкостным накопителем, зарядным дросселем и диодом, отличающийся тем, что источник внешней ЭДС подключают к контуру управляемым ключом до момента времени, пока полная энергия, запасенная в контуре, с учетом линейной компенсации активных потерь, не достигнет величины, соответствующей заданному уровню напряжения на емкостном накопителе, после чего источник ЭДС отключают от контура ключом, и процесс зарядки завершается через диод в режиме свободных колебаний.

15

2. Способ импульсной зарядки емкостного накопителя энергии по п.1, отличающийся тем, что линейная компенсация активных потерь определяется по формуле

20

$$\Delta = R \cdot \int_{t=t_{\text{off}}}^{T_{\text{end}}} I_L^2(t) dt \approx \frac{L}{2} (I(t_{\text{off}}))^2 \cdot k_R$$

где R - активное сопротивление дросселя (Ом);

$I_L(t)$ - ток в последовательном LCR контуре (А);

25

k_R - корректировочный коэффициент;

t_{off} - момент времени отключения источника ЭДС от контура;

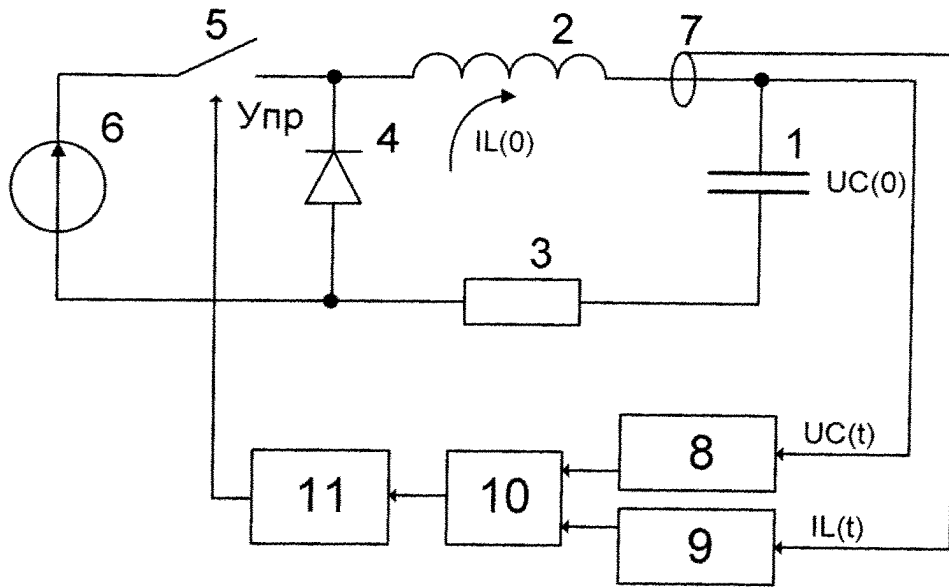
T_{end} - момент времени окончания процесса зарядки в режиме свободных колебаний.

30

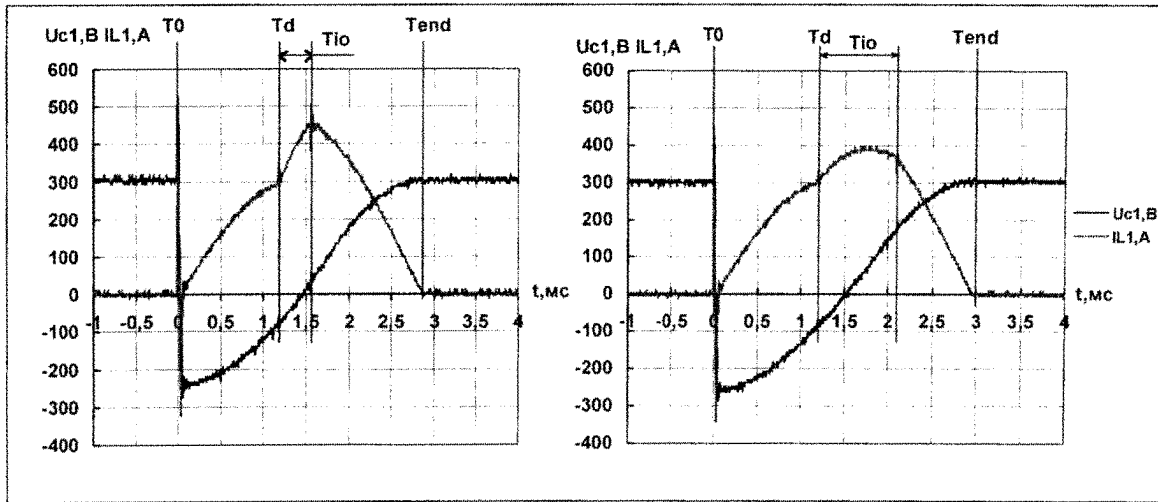
35

40

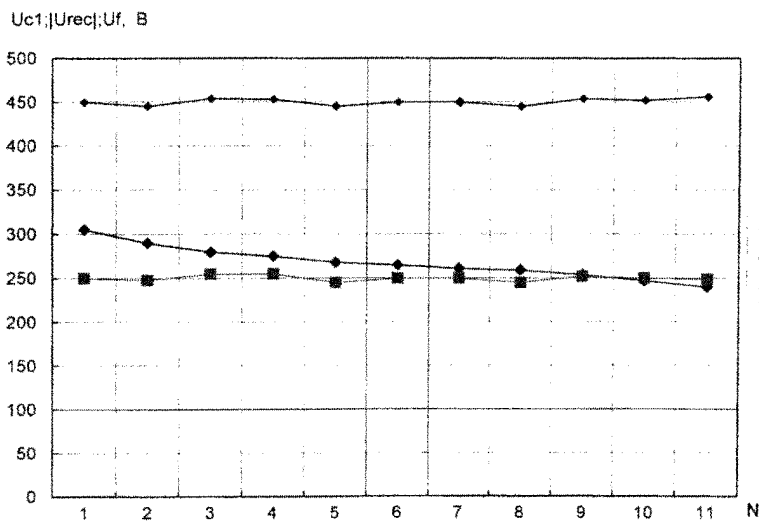
45



Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4