



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2005103994/09, 15.02.2005

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.02.2005

(45) Опубликовано: 27.04.2006 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 236558 A1, 19.06.1969. SU 233078
A, 18.04.1969. GB 1309120 A, 07.03.1973.

Адрес для переписки:

432027, г.Ульяновск, Северный Венец, 32, ГОУ
ВПО "Ульяновский государственный
технический университет", проректору по
научной работе

(72) Автор(ы):

Боровиков Михаил Алексеевич (RU),
Быстрицкий Владимир Евгеньевич (RU),
Милашкина Ольга Владимировна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

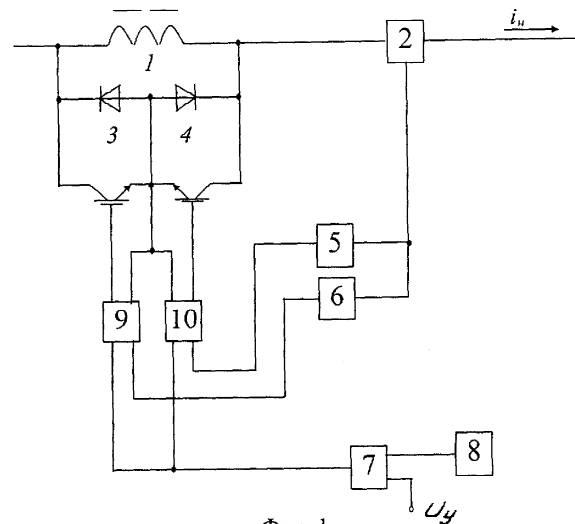
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
"Ульяновский государственный технический
университет" (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ПЛАВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ИНДУКТИВНОСТИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике и электроэнергетике и может быть использовано в установках, где требуется применение индуктивности с плавным изменением ее величины. Выполнено в виде нерегулируемого дросселя с параллельно подключенным транзисторным ключом и системы управления им, состоящей из датчика тока, двух блоков определения его знака, двух логических элементов совпадения, блока формирования импульсов управления транзисторами и генератора линейно изменяющегося напряжения. Выход датчика тока соединен со входами блоков определения его знака, выходы которых соединены с первыми входами элементов совпадения, а их вторые входы соединены с выходом блока формирования импульсов, выходы элементов совпадения соединены со входами транзисторов ключа, к первому входу формирователя импульсов подключен генератор линейно изменяющегося напряжения, а на второй его вход подается напряжение управления ключом. Техническим

результатом изобретения являются снижение массогабаритных показателей регулируемой индуктивности, повышение быстродействия и улучшение формы тока. 4 ил.



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: **2005103994/09, 15.02.2005**

(24) Effective date for property rights: **15.02.2005**

(45) Date of publication: **27.04.2006 Bull. 12**

Mail address:

**432027, g.Ul'janovsk, Severnyj Venets, 32,
GOU VPO "Ul'janovskij gosudarstvennyj
tehnicheskij universitet", prorektoru po
nauchnoj rabote**

(72) Inventor(s):

**Borovikov Mikhail Alekseevich (RU),
Bystritskij Vladimir Evgen'evich (RU),
Milashkina Ol'ga Vladimirovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie
vysshego professional'nogo obrazovanija
"Ul'janovskij gosudarstvennyj tehnikeskij
universitet" (RU)**

(54) **DEVICE FOR SMOOTH ADJUSTMENT OF INDUCTIVENESS**

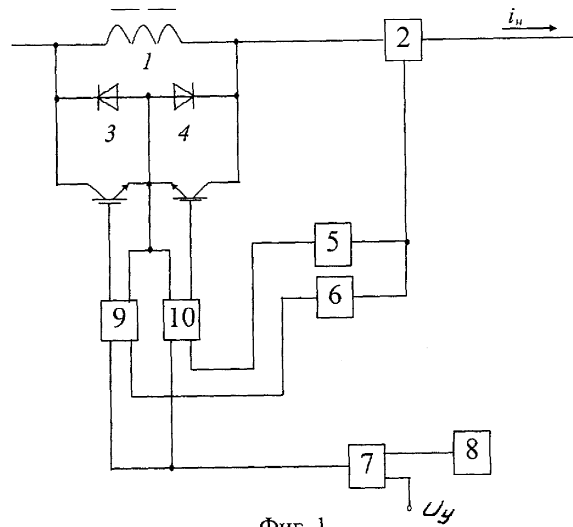
(57) Abstract:

FIELD: electric engineering, power engineering, possible use in plants, where use of inductiveness is required with smooth change of its value.

SUBSTANCE: device is made in form of non-adjustable throttle with parallel-connected transistor key and system for controlling the same, consisting of current indicator, two blocks for determining its sign, two logical coincidence elements, block for forming transistor control pulses and generator of linearly changing voltage. Output of current indicator is connected to inputs of blocks for determining its sign, outputs of which are connected to output of pulse generator block, outputs of coincidence elements are connected to inputs of key transistors, to first input of pulse generator, generator of linearly changing voltage is connected, and to its second input voltage of key control is sent.

EFFECT: decreased mass-dimensional

coefficients of adjusted inductiveness, increased speed of operation, improved shape of current.
4 dwg



Предлагаемое изобретение относится к области электротехники и электроэнергетики и может быть использовано в установках, где требуется применение индуктивности с плавным регулированием ее величины.

Известны многочисленные устройства для регулирования индуктивности дросселя (см., например, А.с. 1601735, Б.И. №2, 1991 г.; А.с. 748771; А.с. 752733 и др.).

Основным недостатком известных аналогов является то обстоятельство, что индуктивность в них изменяется за счет механического перемещения подвижных частей магнитопровода, что является серьезным препятствием их применения в системах автоматического управления. Более эффективным способом изменения индуктивности следует считать электрический - путем изменения сигнала управления в виде напряжения или тока. В связи с этим за прототип следует принять дроссельный магнитный усилитель (МУ), который в некоторых литературных источниках, в том числе и в учебной литературе по теоретическим основам электротехники, считается регулируемой индуктивностью (см. Розенблат М.А. Магнитные усилители. Изд. «Советское радио», 1960, стр.148-180).

Недостатками дроссельных магнитных усилителей являются их повышенные массогабаритные показатели и искажения формы тока за счет использования насыщения магнитного потока. Кроме того, дроссельные магнитные усилители обладают низким быстродействием, что также является препятствием их эффективного применения в системах автоматики.

Технический результат, получаемый от предлагаемого изобретения, состоит в преодолении указанных недостатков, то есть в уменьшении массогабаритных показателей, повышении быстродействия и улучшении формы тока.

Технический результат достигается тем, что устройство плавного регулирования индуктивности выполняется как параллельное соединение нерегулируемого дросселя и транзисторного ключа в виде последовательно и встречно соединенных транзисторов с шунтирующими диодами и системы управления ключом, состоящей из датчика тока, двух блоков определения его знака, генератора линейно изменяющегося напряжения, блока формирования импульсов и двух логических элементов совпадения.

Особенностью является то, что выход датчика тока соединяется со входами блоков определения его знака, выходы которых соединены с первыми входами элементов совпадения, вторые входы последних соединены с выходом блока формирования импульсов, а выходы элементов совпадения со входами транзисторов ключа.

Сущность предлагаемого изобретения заключается в том, что плавное изменение индуктивности осуществляется путем широтно-импульсного управления ключом переменного тока на основе транзисторов и диодов.

На чертежах представлено:

на фиг.1 - схема устройства плавного регулирования индуктивности;

на фиг.2 - расчетная схема для анализа работы устройства плавного регулирования индуктивности;

на фиг.3 - временные диаграммы напряжений и токов, поясняющие принцип и особенности регулирования индуктивности: на фиг.3,а приведены кривые тока в нагрузке при регулировании индуктивности $0 < \gamma < 1$ и наличии или отсутствии фильтрующей индуктивности L_{ϕ} ; на фиг.3,б - приведены кривые ЭДС источника питания e_c и токов нагрузки i_{H1} при $\gamma=1$ и i_{H2} при $\gamma=0$;

на фиг.4 - временные диаграммы, иллюстрирующие работу системы управления транзисторным ключом: на фиг.4,а показаны кривая напряжения питания e_c и сигнала U_2 с выхода датчика тока; на фиг.4,б показаны выходное напряжение генератора 8 линейно изменяющегося напряжения U_8 и сигнал управления U_{γ} ; на фиг.4,в показаны импульсы на выходе блока 7 формирования импульсов; на фиг.4,г и д показаны сигналы на выходе блоков 5 и 6 выделения знака сигнала тока нагрузки; на фиг.4,е и ж показаны импульсы управления U_9 и U_{10} транзисторами ключа.

На фиг.1 обозначено:

1 - дроссель с постоянным значением индуктивности - нерегулируемый дроссель;

2 - датчик тока, протекающего через индуктивность и нагрузку;

3, 4 - транзисторы с шунтирующими диодами, включенные встречно-последовательно;

5, 6 - блоки определения знака тока, протекающего через индуктивность;

7 - блок формирования импульсов управления транзисторами, на первый вход которого подается напряжение генератора линейно изменяющегося напряжения, а на второй вход - напряжение управления U_{γ} ;

8 - генератор линейно изменяющегося напряжения с периодом T_n переключения транзисторов;

9, 10 - логические элементы совпадения сигналов, выполняющие функции

10 распределителей импульсов управления на транзисторы 3, 4.

Пояснить работу предлагаемого устройства можно с помощью расчетной схемы фиг.2, где L_d - индуктивность, R_H - активное сопротивление нагрузки; L_{ϕ} - фильтрующая индуктивность, которая определяется индуктивностями цепей источника ЭДС e_c или специально вводится для сглаживания тока нагрузки; $K1$ - рабочий ключ по схеме фиг.1,

15 замыкающийся в режиме ШИМ-регулирования; $K2$ - вспомогательный ключ, имитирующий включение или выключение фильтрующей индуктивности L_{ϕ} .

ЭДС источника питания определяется выражением

$$e_c(t) = e_c(\theta) = U_m \sin \omega t = U_m \sin \theta, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f_c$ - угловая частота изменения величины ЭДС источника питания;

20 $\theta = \omega t$ - угловая оценка текущего времени.

Ключ $K1$ коммутируется с частотой f_n , величина которой во много раз (на несколько порядков) превышает частоту питающего напряжения f_c .

$$f_n \gg f_c. \quad (2)$$

Период переключения ключа $K1$ $T_n = 1/f_n$ разделяется на два интервала: t_b - время замкнутого состояния и t_0 - время разомкнутого состояния

$$T_n = t_b + t_0 \quad (3)$$

Относительная продолжительность включения γ

$$\gamma = \frac{t_b}{T_n} = \frac{t_b}{t_b + t_0}, \quad (4)$$

30 является регулирующим воздействием на изменение величины индуктивности $L(\gamma)$

$$0 \leq L(\gamma) \leq L_d.$$

При $\gamma=1$ ключ $K1$ замкнут на всем периоде T_n , ток в нагрузке определяется выражением

$$35 \quad i_{H1}(\theta) = I_{m1} \sin \theta = \frac{U_m}{R_H} \sin \theta. \quad (5)$$

При $\gamma=0$ ключ $K1$ разомкнут весь период T_n , ток в нагрузке определяется выражением

$$40 \quad i_{H2}(\theta) = I_{m2} \sin(\theta - \varphi_{\max}) = \frac{U_m}{\sqrt{R_H^2 + (\omega L_d)^2}} \sin(\theta - \varphi_{\max}), \quad (6)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \varphi_{\max} &= \arctg \frac{\omega L_d}{R_H}, \\ I_{m1} &= \frac{U_m}{R_H}; \quad I_{m2} = \frac{U_m}{\sqrt{R_H^2 + (\omega L_d)^2}} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

45 Кривые ЭДС $e_c(\theta)$ и токов $i_{H1}(\theta)$ и $i_{H2}(\theta)$ приведены на фиг.3,б.

При промежуточных значениях $0 < \gamma < 1$ происходят следующие процессы.

В момент замыкания $K1$ на интервалах t_{bi} ток определяется выражением (5). В момент размыкания $K1$ характер тока нагрузки определяется решением уравнения

$$50 \quad U_m \sin \theta = i_H R_H + L_d \frac{di_H}{dt}, \quad (8)$$

которое имеет вид

$$i_H(\Delta\theta_i) = i_{устi} + i_{свi} = \frac{U_m}{\sqrt{R_H^2 + (\omega L_d)^2}} \sin(\theta_i - \varphi_{\max}) + A e^{-\frac{t_i}{T_s}}, \quad (9)$$

где A_i - постоянная интегрирования, определяемая начальными условиями на каждом интервале t_{0i} ;

$$T_s = \frac{L_d}{R_H} - \text{постоянная времени.}$$

Если для упрощения анализа свободные составляющие $A_i e^{-\frac{t_i}{T_s}}$

тока нагрузки $i_H(\gamma)$, будет представлять последовательность импульсов, максимальные и минимальные значения которых ограничиваются кривыми токов i_{H1} и i_{H2} , а ширина их определяется значением γ (фиг.3,а).

Можно предположить, что при включении даже незначительной индуктивности L_ϕ (например, на порядок меньше значения L_d) кривая тока нагрузки приобретает практически синусоидальный вид. Определить усредненное (отфильтрованное) значение тока нагрузки можно из условия равенства амперсекундных площадей S_1 и S_2 (см. фиг.3,а) на интервалах $t_{вi}$, замыкания и t_{0i} размыкания ключа $K1$, которое приобретает вид:

$$\int_{t_i}^{t_i+t_{вi}} \{I_{m1} \sin \theta_i - I_{\text{мср}} \sin[\theta_i - \varphi(\gamma)]\} dt = \int_{t_i+t_{вi}}^{t_i+t_{вi}+t_{0i}} \{I_{\text{мср}} \sin[\theta_i - \varphi(\gamma)] - I_{mH2} \sin(\theta - \varphi_{\max})\} dt. \quad (10)$$

Компьютерное и натурное моделирование схемы фиг.2 подтверждает возможность регулирования индуктивности с помощью ШИМ-управления ключом $K1$. Причем при наличии $L_\phi < 0,1L_d$ ток в нагрузке оказывается практически синусоидальным, а показателем регулирования индуктивности является плавное изменение фазы $\varphi(\gamma)$ тока i_H от максимального значения φ_{\max} до нуля.

Реализация устройства плавного регулирования индуктивности на основе ШИМ-регулирования ключа $K1$ в схеме фиг.2 предлагается по схеме фиг.1, где функции ключа $K1$ выполняют транзисторы 3 и 4 с фильтрующими диодами, а выход датчика тока 2 соединен со входами блоков определения знака тока 5, 6, выходы которых соединены с первыми входами логических элементов совпадения сигналов 9, 10, вторые входы последних соединены с входом блока формирования импульсов управления транзисторами 7, а выходы логических элементов совпадения сигналов 9, 10 - со входом транзисторов 3, 4 с шунтирующими диодами.

Работа устройства фиг.1 осуществляется следующим образом. В исходном состоянии, когда $U_y=0$, импульсов управления транзисторами нет, несмотря на то, что генератор линейно изменяющегося напряжения 8 вырабатывает опорное пилообразное напряжение, изменяющееся с частотой $f_n=1/T_n$. Дело в том, что импульсы управления формируются в начале каждого периода до точки пересечения напряжения управления с опорным U_8 , вырабатываемым генератором линейно изменяющегося напряжения (см. фиг.4,б и в). Поэтому при $U_y=0$ импульсы управления транзисторами 3 и 4 не формируются и как следствие они оказываются закрытыми. В то же время устройство по схеме фиг.1 готово к работе: по дросселю 1 и датчику тока 2 протекает ток i_H , определяющийся источником питания и нагрузкой, выходной сигнал датчика тока U_2 (см. фиг.4,а) подается на блоки 5 и 6 определения знака тока, протекающего через индуктивность; в свою очередь выходные сигналы блоков 5 и 6 (см. фиг.4, г и д) поданы на логические элементы 9 и 10 совпадения, на выходе которых сигналов нет, так как нет импульсов управления U_7 на их вторых входах. При появлении сигнала управления $U_y>0$ появляются импульсы U_7 на выходе формирователя импульсов 7, как следствие, появляются импульсы U_9 и U_{10} (см. фиг.4,е и ж) управления транзисторами 3 и 4 и имеет место описанное выше ШИМ-регулирование ключом, шунтирующим дроссель 1, и появляется эффект регулирования индуктивности.

Для реализации заявленного устройства требуются только элементы, давно известные, широко применяемые, выпускаемые предприятиями электротехнической и электронной промышленности и доступные пользователям. В связи с этим устройство удовлетворяет требованиям практической осуществимости.

5 Регулируемые индуктивности нужны для решения многих важных прикладных задач электротехники и электроэнергетики.

Например, регулируемые индуктивности могут позволить обеспечить симметрирование выходных напряжений многофазных источников питания при несимметричной нагрузке; обеспечить равномерное распределение нагрузки у параллельно работающих
10 электромашинных источников питания; обеспечивать компенсацию емкостных токов при включении линии электропередачи и т.п.

Таким образом, применение предлагаемого изобретения позволит решить многие важные задачи электротехники и электроэнергетики.

Следовательно, вышеизложенные сведения свидетельствуют о выполнении при
15 использовании заявленного устройства следующей совокупности условий:

- средство, воплощающее заявленное устройство при его осуществлении, предназначено для использования в устройствах симметрирования напряжений многофазных источников питания при несимметричной нагрузке или при обеспечении правильного распределения нагрузок при параллельной работе электромашинных
20 источников питания и т.п.;

- для заявленного устройства в том виде, как оно охарактеризовано в независимом пункте изложенной формулы изобретения, подтверждена возможность его осуществления с помощью описанных в заявке или известных до даты приоритета средств и методов;

- средство, воплощающее заявленное изобретение при его осуществлении, способно
25 обеспечить достижение усматриваемого заявителем технического результата.

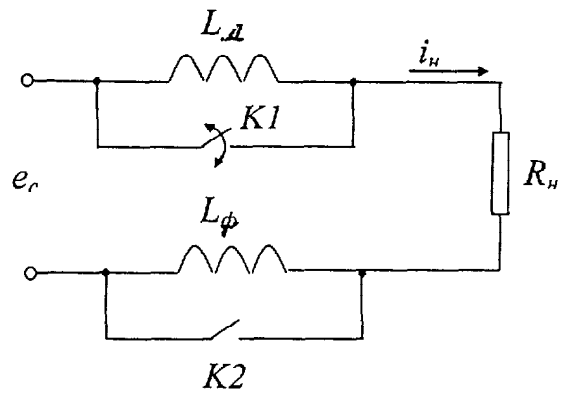
Следовательно, заявленное изобретение соответствует условию «промышленная применимость».

Формула изобретения

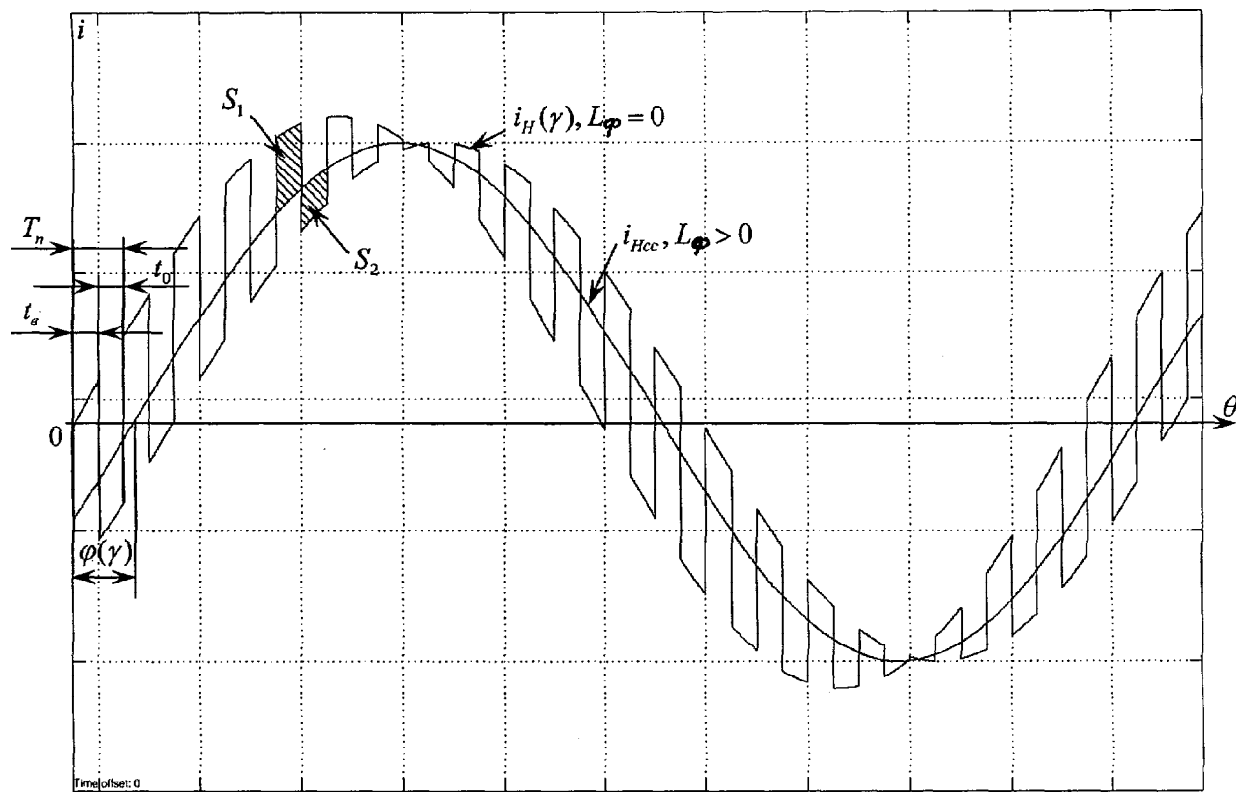
30 Устройство плавного регулирования индуктивности, состоящее из нерегулируемого дросселя с параллельно подключенным транзисторным ключом в виде последовательно-встречно соединенных транзисторов с шунтирующими диодами и системы управления ключом, состоящей из датчика тока, соединенного последовательно с регулируемой
35 индуктивностью, двух блоков определения знака тока, генератора линейно изменяющегося напряжения, блока формирования импульсов управления транзисторами и двух логических элементов совпадения, отличающееся тем, что выход датчика тока соединен со входами блоков определения его знака, выходы которых соединены с первыми входами логических элементов совпадения, а их вторые входы соединены с выходом блока формирования импульсов управления транзисторами, причем выходы логических элементов совпадения
40 соединены со входами транзисторов ключа, к первому входу формирователя импульсов управления транзисторами подключен генератор линейно изменяющегося напряжения, а на второй его вход подается напряжение управления ключом.

45

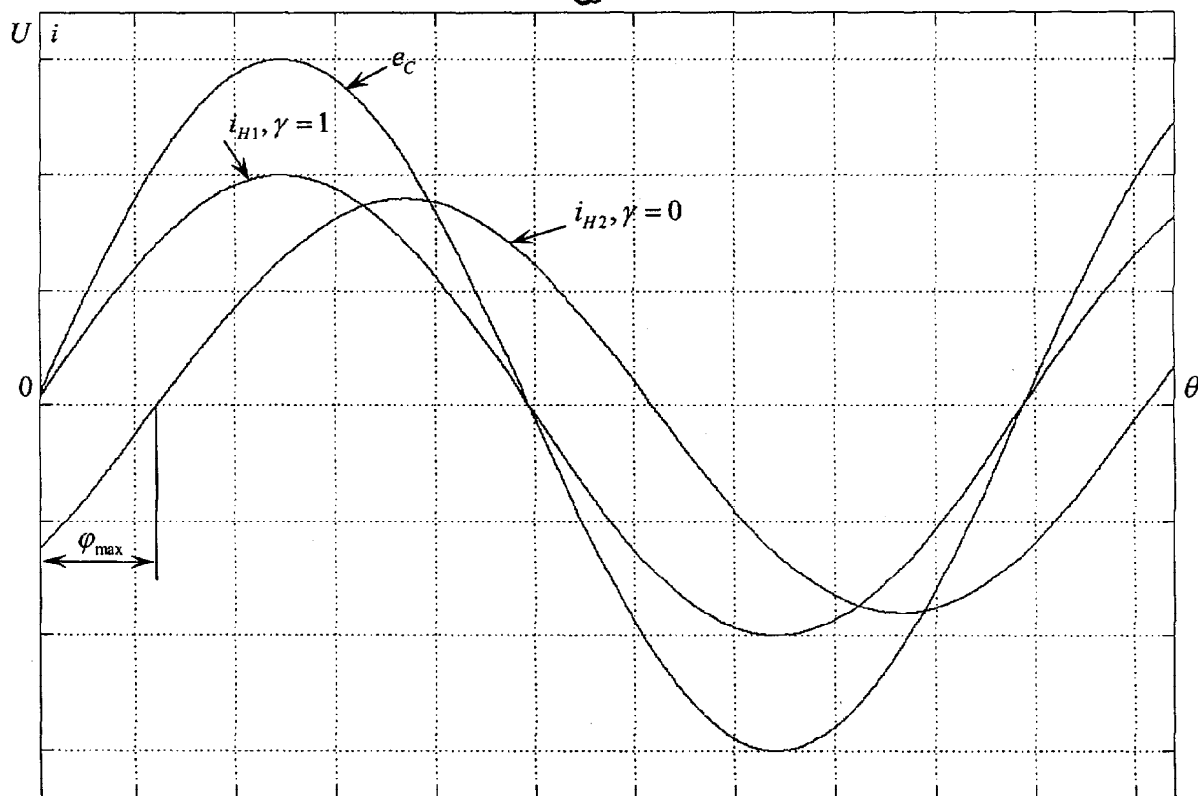
50



Фиг. 2

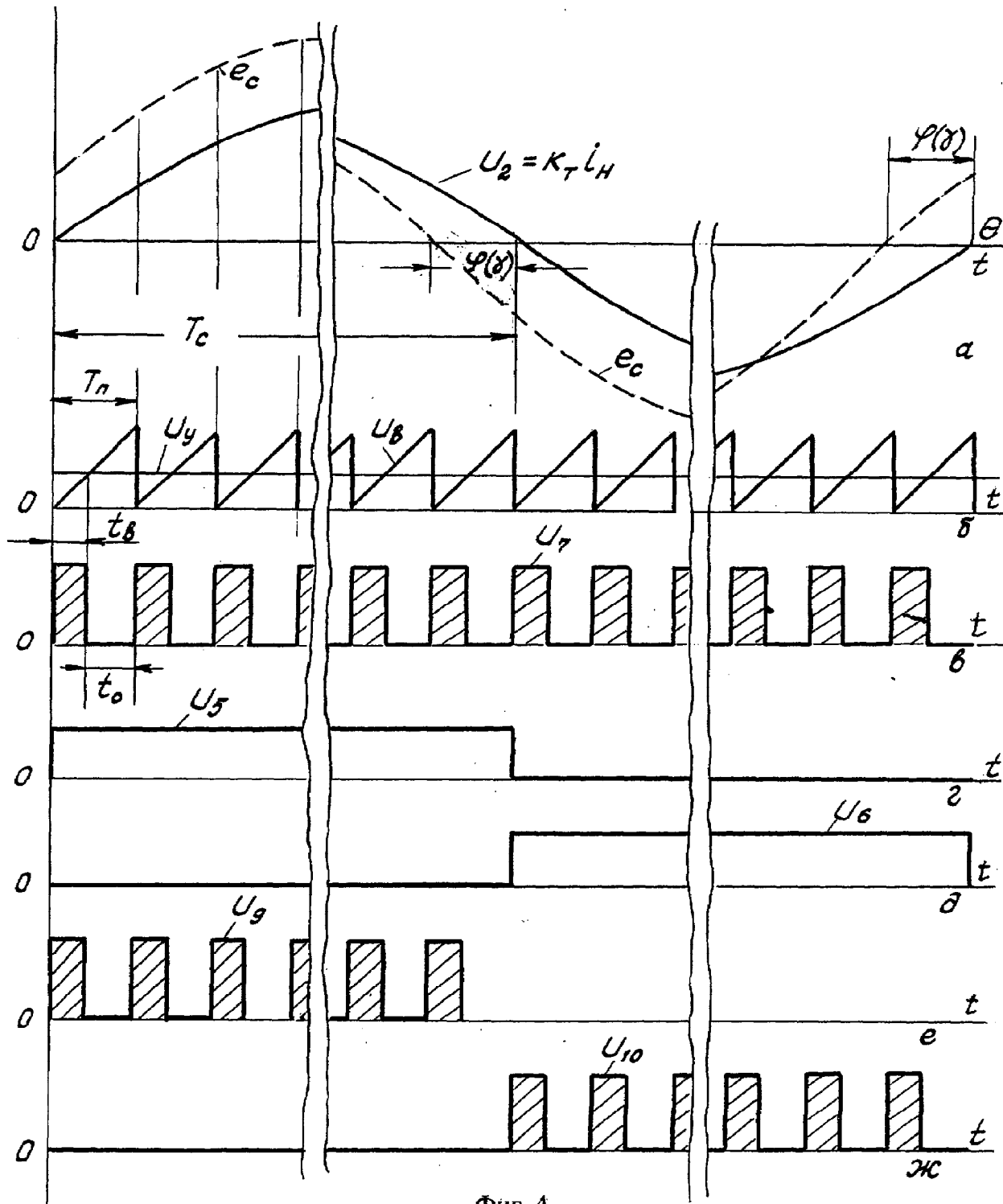


а



б

Фиг. 3



Фиг. 4