

УДК 62-83:621

А. С. Коваль, А. И. Артеменко

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ И ФОРМИРОВАНИЮ ТАХОГРАММ ДВИЖЕНИЯ В РЕГУЛИРУЕМЫХ ПРИВОДАХ ЛИФТОВ

UDC 62-83:621

A. S. Koval, A. I. Artemenko

ON THE SELECTION OF SPEED CONTROLLER PARAMETERS AND THE FORMATION OF MOTION TACHOGRAMS IN ELEVATOR ADJUSTABLE DRIVES

Аннотация

Стратегия управления в регулируемых приводах лифтов определяется необходимостью обеспечения комфортных характеристик поездки. Показано, что требуемые тахограммы движения кабины лифта формируются задатчиками скорости при быстром действии системы управления, ограниченном настройками скоростного контура, параметры которого определяются на основании амплитудно-частотного критерия при частоте среза проектируемой системы, меньшей, чем наименьшая частота резонанса механической подсистемы электропривода.

Ключевые слова:

лифт, упругие свойства канатов, переходные процессы в механической подсистеме лифта, передаточные функции, регулятор скорости, механическая подсистема, резонансные частоты.

Abstract

The control strategy for adjustable drives in elevators is determined by the need to provide comfortable ride characteristics. It is shown that the required tachograms of the elevator car movement are formed by the speed selectors with response speed of the control system limited by settings of the speed loop, whose parameters are determined based on the amplitude-frequency criterion with the cutoff frequency of the designed system lower than the minimum resonance frequency of the mechanical subsystem of the electric drive.

Keywords:

elevator, elastic properties of ropes, transient processes in the mechanical subsystem of elevators, transfer functions, speed controller, mechanical subsystem, resonant frequencies.

В настоящее время основным типом применяемого электропривода в массовых лифтах является регулируемый редукторный или безредукторный электропривод переменного тока на базе асинхронного двигателя или синхронного двигателя с постоянными магнитами. Электропривод лифта как электромеханическая система с упругими кинематическими связями может быть представлен в виде электрической и механической подсистем [1]. Момент

двигателя, действуя в такой системе, может вызывать различный характер переходных процессов по скорости, в том числе и колебательный с собственными частотами колебаний механической подсистемы, которые в массовых лифтах могут меняться на порядок. В таких электроприводах решающую роль играет реакция системы электропривода на задающие воздействия при практически неизменных в течение времени поездки возмущающих воздей-



ствиях (загрузка кабины) с целью получения минимальной колебательности переходных процессов при ограничении рывка и ускорения кабины. При этом возможные и достаточно быстродействующие алгоритмы управления в электрической подсистеме электропривода, построенные на принципах последовательной коррекции, не могут быть использованы полностью по быстродействию, т. к. наличие упругих связей в механической подсистеме приводит к нарушению настроек привода, снижению устойчивости и возникновению нежелательных колебаний.

Механическая подсистема электропривода при наличии упругих связей

может рассматриваться как система с распределенными параметрами. Математическое описание в этом случае достаточно громоздкое, что затрудняет анализ и синтез соответствующих систем электропривода, и поэтому система с распределенными параметрами приводится к многомассовой. В частности, механическая подсистема привода лифтов рассматривается как трехмассовая система [2]. В этом случае передаточные функции по скорости кабины лифта, скорости двигателя (при входном воздействии – электромагнитный момент двигателя) имеют вид [3]:

$$W_6(p) = \frac{T_3 \cdot T_{\text{пр}} \cdot p^2 + 1}{p[T_3 \cdot T_1 \cdot T_K \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_M \cdot p^4 + (T_1 \cdot T_M \cdot T_K + T_3 \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_K + T_3 \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_M) \cdot p^2 + T_K \cdot T_M]}; \quad (1)$$

$$W_8(p) = \frac{T_1 \cdot T_3 \cdot T_K \cdot T_{\text{пр}} \cdot p^4 + (T_{\text{пр}} \cdot T_3 + T_1 \cdot T_K) \cdot p^2 + 1}{p[T_3 \cdot T_1 \cdot T_K \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_M \cdot p^4 + (T_1 \cdot T_M \cdot T_K + T_3 \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_K + T_3 \cdot T_{\text{пр}} \cdot T_M) \cdot p^2 + T_K + T_M]}. \quad (2)$$

Постоянные времени, используемые в этих передаточных функциях для редукторного пассажирского лифта грузоподъемностью 400 кг и скоростью

движения 1 м/с (двигатель АЧ132-М6, передаточное число редуктора $i = 30$, количество стальных тросов ($d = 10,8$ мм) подвеса $n = 3$), приведены в табл. 1.

Табл. 1. Значения постоянных времени, используемых при расчетах

В секундах

T_1	T_3	T_K	$T_{\text{пр}}$	T_n	T_M
2,98	0,37	0,0044	0,0034	0,1	0,0025

В структурной схеме контура регулирования скорости векторного электропривода лифта (при постоянном потокоцеплении ротора) внутренний контур регулирования момента (тока i_{sy}) является быстродействующим, и при отработке задающих сигналов его мож-

но считать безынерционным. Структурная схема контура регулирования скорости электропривода с регулятором скорости для этого случая представлена на рис. 1, а без учета упругих связей – на рис. 2.



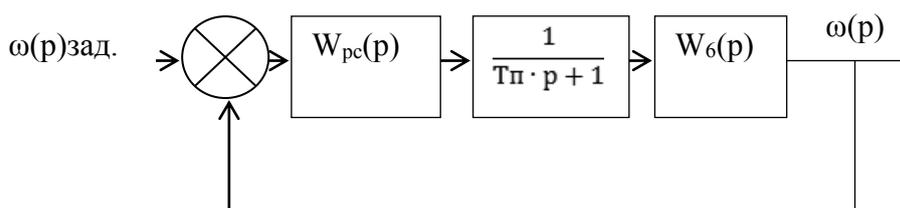


Рис. 1. Структурная схема электропривода при учете упругих связей

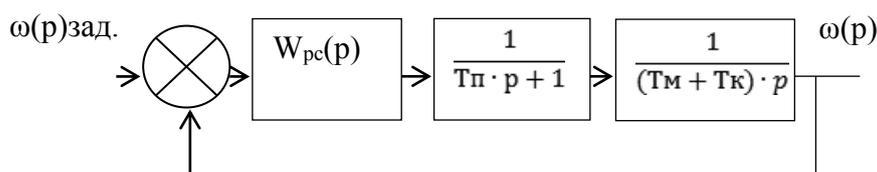


Рис. 2. Структурная схема электропривода лифта без учета упругих связей

Для структурной схемы (см. рис. 2) при стандартной настройке контура скорости на технический оптимум регулятор скорости пропорциональный с коэффициентом

$$k = \frac{T_M + T_K}{T_{II}}$$

Для рассматриваемого случая процессы по скорости кабины при единичном задающем сигнале без учета упругих связей механической подсистемы и с их учетом (кабина уравновешена) приведены на рис. 3.

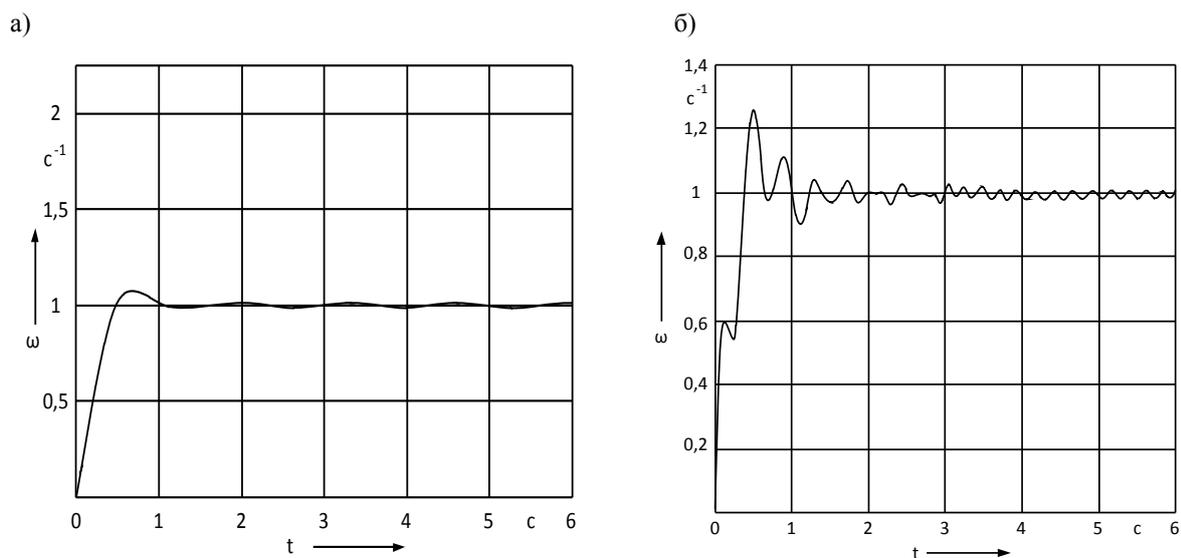


Рис. 3. Переходные процессы по скорости кабины (регулятор скорости пропорциональный) при единичном воздействии: а – без учета упругих связей; б – с учетом упругих связей



В приводах лифтов используется пропорционально-интегральный (ПИ) регулятор скорости, а не пропорциональный. Соотношения между коэффициентами усиления пропорциональной части K_p и интегральной части K_i ПИ-регулятора скорости и частотой среза Ω_{cp} проектируемой системы электропривода (см. рис. 2) могут быть получены на основе амплитудно-частотного критерия оптимальности [4], при использовании которого для настройки регуляторов на модальный оптимум требуется нахождение предела $\lim_{\omega \rightarrow 0} \frac{d^m A(\omega)}{d\omega^m}$ (где $A(\omega)$ – амплитудно-частотная характеристика замкнутого контура системы управления электропривода). Показано [4], что в этом случае

$$K_p(\omega) = \frac{\Omega_{cp}(T_M + T_K)}{\sqrt{2,5\eta}};$$

$$K_i(\omega) = \frac{4(T_M + T_K)\Omega_{cp}^2}{15\eta}, \quad (3)$$

где Ω_{cp} – частота среза контура регулирования скорости электропривода (выбирается значение, меньшее, чем значение наименьшей резонансной частоты механической подсистемы); η – КПД редуктора (редукторный регулируемый электропривод).

При учете КПД редуктора и коэффициента передачи внутреннего контура регулирования тока преобразователя коэффициенты ПИ-регулятора могут быть уточнены:

$$K_p(\omega) = \frac{\Omega_{cp}(T_M + T_K)}{\sqrt{2,5\eta}K};$$

$$K_i(\omega) = \frac{4(T_M + T_K)\Omega_{cp}^2}{15\eta K},$$

где K – коэффициент передачи контура тока.

Процессы по скорости кабины с учетом упругих связей и без учета для единичного задающего воздействия (кабина уравновешена) при выборе параметров регулятора скорости по (3) показаны на рис. 4.

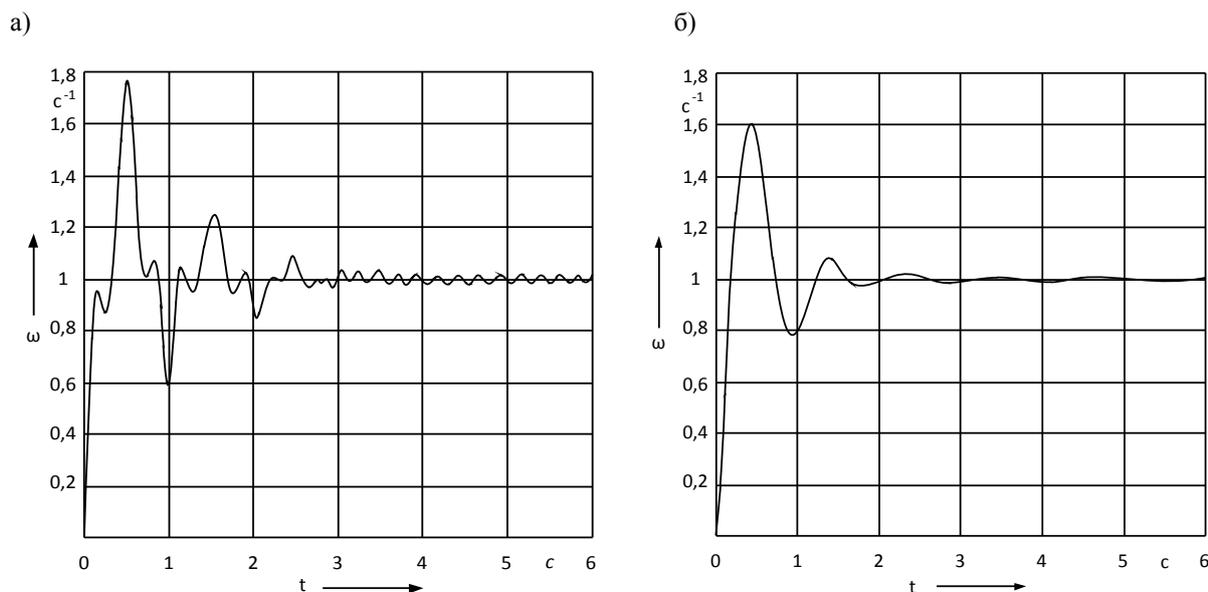


Рис. 4. Переходные процессы по скорости кабины (регулятор скорости пропорционально-интегральный, частота среза системы равна 10,67 рад/с) при единичном воздействии: а – с учетом упругих связей; б – без учета упругих связей



Завышение частоты среза привода при настройке регуляторов увеличивает

колебательность процессов (рис. 5).

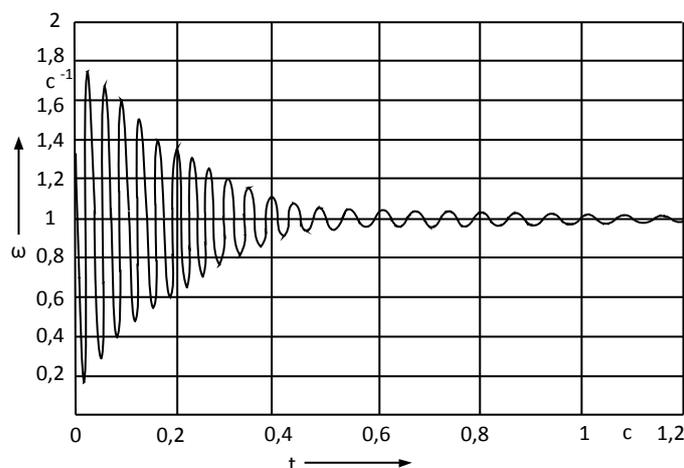


Рис. 5. Переходные процессы по скорости кабины (регулятор скорости пропорционально-интегральный, частота среза равна 15 рад/с) при единичном задающем сигнале

В электроприводе лифтов есть еще один фактор, влияющий на процессы в механической подсистеме привода лифта и позволяющий получить в структуре (см. рис. 1) апериодический процесс. Это необходимость формирования темпа разгона и торможения кабины лифта с учетом ограничений на рывок и ускорение с помощью задатчика. Формирование меняющегося во времени сигнала задания на электропривод с упругими связями уменьшает колебательность в механической подсистеме. Требуемые тахограммы движения кабины лифта могут быть сформированы разными способами и иметь различные характеристики. Наиболее употребительна в приводах лифтов так называемая S-образная кривая разгона и торможения. На рис. 6 показаны переходные процессы по скорости пуска кабины для электропривода (см. рис. 1) при времени пуска 2 с и настройках регулятора скорости по (3). Увеличение времени пуска уменьшает колебательность процесса пуска.

Желательно получить минимальное время пуска при выполнении ком-

фортных требований к поездке в лифте. В [5] показано, что формируемая S-кривая разгона и торможения с минимальным временем пуска может рассматриваться как гармонический сигнал с частотой, определяемой временем движения при постоянном рывке и ускорении. При выборе этой частоты по минимальной частоте резонанса механической подсистемы возможна реализация минимального времени пуска привода лифта.

Таким образом, задание задатчиком требуемой тахограммы движения кабины лифта и ее отработка (при выбранном по минимальной резонансной частоте механической подсистемы быстродействии системы управления) электроприводом обеспечивают приемлемое качество переходных процессов при необходимой производительности лифта, что и определяют в целом стратегию управления в регулируемых приводах лифтов.

В электроприводах с упругими связями возможно применение фильтров [6], например, нижних частот и режекторных, позволяющих подавить колебания на определенных частотах,

больших полосы пропускания электропривода (внешние помехи и возможные собственные частоты нежестких соединений). Современные контроллеры управления электроприводами имеют частотные анализаторы, которые позволяют идентифицировать по частотным характеристикам объект управления с упруговязкими связями и достаточно

точно и эффективно настраивать соответствующие фильтры. ЛАЧХ электропривода применительно к структуре электропривода лифта (см. рис. 1) при частоте резонанса механической подсистемы 10,67 рад/с и использовании в контуре скорости режекторного фильтра, настроенного на эту частоту, представлена на рис. 7.

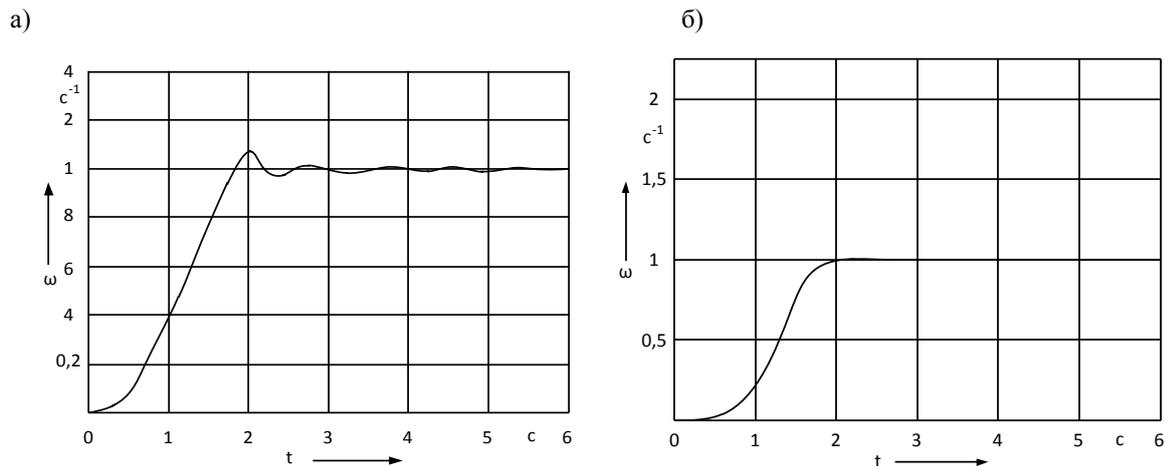


Рис. 6. Переходные процессы по скорости кабины (регулятор скорости пропорционально-интегральный, частота среза системы равна 10,67 рад/с) при времени пуска 2 с: а – с учетом упругих связей; б – без учета упругих связей

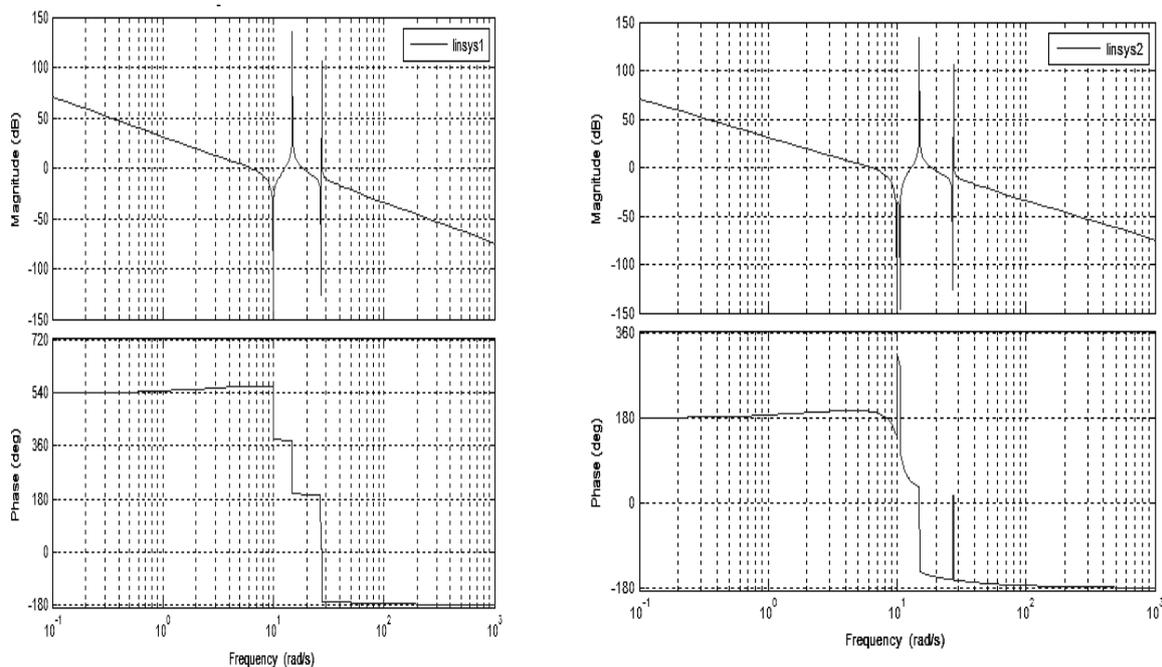


Рис. 7. Частотные характеристики привода лифта (регулятор скорости пропорционально-интегральный, частота среза системы равна 10,67 рад/с): а – без режекторного фильтра; б – при наличии фильтра (настроен на частоту среза 10,67 рад/с)



Применение режекторного фильтра увеличивает запас устойчивости на резонансной частоте при сохранении коэффициента передачи регулятора скорости, что и позволяет использовать его в системах с упругими связями. Так как частоты собственных колебаний в приводе лифтов, как и во всех подъемных механизмах, меняются в существенном диапазоне с изменением длины тросов подвеса, то задача выбора фильтров в этом случае не тривиальна.

Таким образом, использование фильтров в лифтах и подъемно-транспортных механизмах не решает проблему возможных колебаний на резонансных частотах. Комфортность поездки в этих механизмах обеспечивается со стороны электрической подсистемы электропривода выбором частоты среза системы и настройкой регулятора скорости по наименьшей резонансной частоте механической подсистемы при формировании управляемого пуска и торможения задатчиком.

Выводы

1. Быстродействие и запас устойчивости регулируемого привода в лифтах определяется контуром скорости. Его параметры определяются на основании амплитудно-частотного критерия при частоте среза проектируемой системы, меньшей, чем наименьшая частота резонанса в механической подсистеме электропривода. Применение фильтров в системах электропривода лифтов с целью увеличения запаса устойчивости электропривода неэффективно, т. к. резонансные частоты механической подсистемы электропривода лифта меняются в значительном диапазоне, что требует перенастройки фильтров и существенного увеличения их количества.

2. Требуемые по условиям комфортности поездки тахограммы движения в лифтах формируются регулируемым электроприводом по сигналам задающего устройства с минимальным временем управляемого пуска, определяемым, например, временем разгона с постоянным рывком и ускорением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коваль, А. С. Электромеханическая система лифтов со скоростью до 2 м/с / А. С. Коваль, А. В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2009. – № 4. – С. 113–120.
2. Чупрасов, В. В. Исследование динамики электроприводов лифтов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / В. В. Чупрасов ; Моск. энергет. ин-т. – Москва, 1976. – 19 с.
3. Коваль, А. С. Передаточные функции механической подсистемы редукторного электропривода лифтов / А. С. Коваль, Н. С. Лагун // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2015. – № 2. – С. 112–118.
4. Коваль, А. С. К вопросу построения нечеткого регулятора скорости для электропривода при ПУМ с ШИМ лифтовой установки / А. С. Коваль, А. В. Шваяков // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 114–122.
5. Шваяков, А. В. Система векторного управления редукторным электроприводом лифта с нелинейным регулятором скорости : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.09.03 / А. В. Шваяков ; БНТУ. – Минск, 2014. – 23 с.
6. Ганнель, Л. В. Применение встроенных фильтров для подавления колебаний линейного упругого электропривода из-за понижения эффективной массы / Л. В. Ганнель // Электротехника. – 2013. – № 3. – С. 33–36.

Статья сдана в редакцию 29 октября 2018 года

Александр Сергеевич Коваль, канд. техн. наук, доц., Белорусско-Российский университет.
E-mail: etf@bru.by.

Александр Игоревич Артеменко, аспирант, Белорусско-Российский университет.

Aleksandr Sergeyeovich Koval, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian-Russian University.
E-mail: etf@bru.by.

Aleksandr Igorevich Artemenko, PhD student, Belarusian-Russian University.

Электротехника

