

Питание однофазного асинхронного электродвигателя от преобразователя частоты

¹*ИВАНОВ Валерий Анатольевич, PhD, старший преподаватель, v.ivanov@kstu.kz,

¹ДАЙЧ Леонид Израилевич, старший преподаватель, l.daych@mail.ru,

¹ЛАПИНА Лариса Михайловна, старший преподаватель, lapinalarissa@mail.ru,

¹ЛИСИЦЫН Дмитрий Владимирович, старший преподаватель, dlisicyn@mail.ru,

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан,

*автор-корреспондент.

Аннотация. В статье рассматриваются способы подключения однофазного асинхронного двигателя к электрической сети переменного тока. Приводится их сравнительный анализ. Рассматривается вариант питания однофазного асинхронного двигателя от преобразователя частоты, ведомого сетью. Приведена принципиальная схема преобразователя, описание принципа работы, алгоритм управления и временные диаграммы работы для различных режимов. Обосновываются преимущества использования преобразователя частоты, ведомого сетью, для питания однофазных асинхронных двигателей.

Ключевые слова: однофазный асинхронный двигатель, схема подключения, регулирование скорости вращения, преобразователь частоты, ведомый сетью.

Введение

Трехфазные электродвигатели широко применяются в промышленности, позволяя решать различные задачи. Однако для применения в приводах малой мощности предпочтительнее использовать однофазные асинхронные электродвигатели, не требующие для своей работы трехфазной сети и способные работать от электрической сети частотой 50 Гц и напряжением 220 В.

В настоящее время для питания асинхронного электродвигателя в однофазной сети переменного тока используется метод сдвига фазы в цепи статора электродвигателя с помощью конденсатора [1, 2]. Для получения вращающегося поля статора одна обмотка однофазного асинхронного двигателя подключается к питающей сети через конденсатор, а вторая – напрямую к однофазной сети.

Основными недостатками данного способа подключения однофазного асинхронного электродвигателя к однофазной сети являются сниженное значение КПД и момента на валу, а также невозможность регулирования скорости вращения электродвигателя.

Наиболее простым способом регулирования скорости вращения однофазного асинхронного электродвигателя является изме-

нение значения питающего напряжения, которое можно осуществлять с помощью автотрансформатора или тиристорного регулятора. Основными недостатками данного способа являются: резкое снижение момента двигателя при малых значениях питающего напряжения, повышенное скольжение, сильный нагрев обмоток статора, небольшой диапазон регулирования [3].

Материалы и методы

Для устранения вышеуказанных недостатков питание однофазного асинхронного двигателя возможно осуществлять с использованием преобразователя частоты, ведомого сетью переменного тока (рисунок 1) [4].

Применение представленного преобразователя частоты позволяет осуществить управление однофазным асинхронным электродвигателем в следующих режимах [5]: формирование четырех последовательных фиксированных положений вектора электромагнитного вращающегося поля статора, при подключении только одной обмотки статора; формирование восьми последовательных фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора двигателя и формирование четырех последовательных фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного

поля статора, при одновременном включении двух обмоток статора двигателя.

На рисунке 2 приведены векторная диаграмма (рисунок 2, а) и токи (рисунок 2, б) в обмотках электродвигателя для 8-ми фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора.

Для получения вращающегося магнитного поля статора в заданной последовательности (1) – (2) – (3) – (4) – (5) – (6) – (7) – (8) необходимо подавать на ключи (K1...K8) управляющее напряжение в следующем порядке:

1) Управляющее напряжение подается на ключи K1, K4, K5, K8 в положительный полупериод питающего напряжения U_c , что обеспечивает протекание тока по обмоткам W1 и W2 в прямом направлении – (1) фиксированное положение вектора электромагнитного поля статора.

2) Для формирования (2) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора необходимо подавать напряжение управления на ключи K2, K3 в отрицательный полупериод входного питающего напряжения, вызывая протекание тока по обмотке W1 в прямом направлении, по обмотке W2 ток не течет.

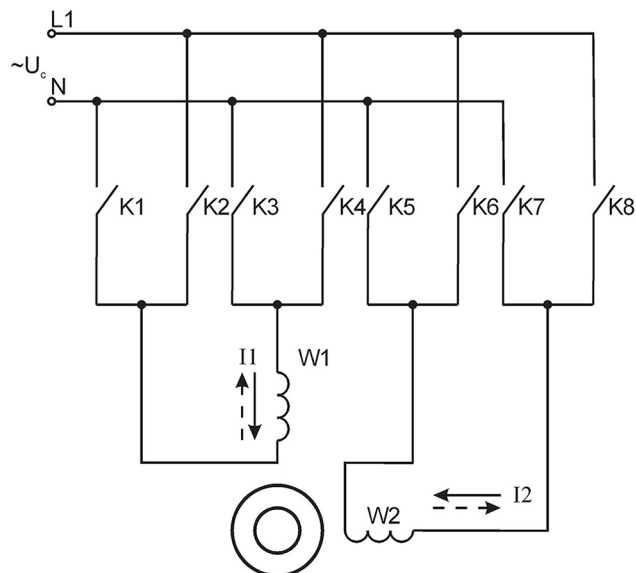
3) Если напряжение управления ключей K1 и K4, K6 и K7 подавать в положительный полупериод питающего напряжения, то по обмотке W1 будет протекать ток в прямом направлении, а по обмотке W2 в обратном направлении, что обеспечит поворот вектора электромагнитного поля статора в (3) фиксированное положение.

4) При подаче напряжения управления на ключи K5, K8 во время отрицательного полупериода напряжения питания по обмотке W2 будет протекать ток в обратном направлении, что соответствует формированию (4) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора.

5) Подавая напряжение управления ключей K3 и K2, K7 и K6 в интервал времени соответствующий положительному полупериоду напряжения питания преобразователя вызовет протекание тока обмоткам W1 и W2 в обратном направлении и соответственно, поворот вектора электромагнитного поля статора, в (5) фиксированное положение.

6) Подача управляющего напряжения на ключи K1, K4 во время отрицательного полупериода питающего напряжения, обеспечивает протекание тока только по обмотке W1 в обратном направлении и поворот вектора электромагнитного поля статора в (6) фиксированное положение.

7) Если подать напряжение управления ключей K3 и K2, K5 и K8 во время положительного полупериода входного питающего



L1, N – фаза и нейтраль питающей сети; W1, W2 – статорные обмотки асинхронного электродвигателя; I1, I2 – ток в статорных обмотках, K1...K8 – коммутационные ключи

Рисунок 1 – Принципиальная электрическая схема преобразователя частоты, ведомого сетью

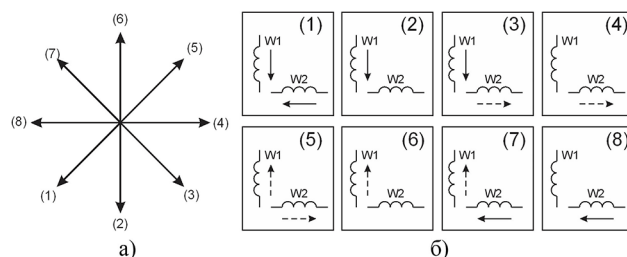


Рисунок 2 – Векторная диаграмма кругового вращающегося поля (а) и протекающего тока по обмоткам статора (б) для 8-ми фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора

напряжения, то по обмотке W1 будет протекать ток в обратном направлении, а по обмотке W2 в прямом направлении, что соответствует повороту вектора электромагнитного поля статора в (7) фиксированное положение.

8) В случае подачи управляющего напряжения на ключи K6 и K7 в отрицательный полупериод входного напряжения – ток протекает только по обмотке W2 в прямом направлении, обеспечивая поворот вектора электромагнитного поля статора в (8) положение.

После этого цикл работы преобразователя повторяется. Временные диаграммы напряжений на обмотках статора электродвигателя для указанного режима, приведены на рисунке 3. Приведенный алгоритм включения ключей обеспечивает работу двигателя на частоте $f_{дв} = f_c/4$.

Для формирования вращающего поля статора, состоящего из 4-х фиксированных положений, построим векторную диаграмму (рисунок 4, а) и направление токов (рисунок 4, б), которые необходимо обеспечить в обмотках электродвигателя.

Для обеспечения заданного режима работы однофазного асинхронного двигателя, в соответствии с приведенной векторной диаграммой необходимо подавать управляющее напряжение на ключи К1...К8 (см. рисунок 1) в следующем порядке:

1) В положительный полупериод питающего напряжения подается напряжение управления на ключи К1 и К4, К5 и К8, что обеспечивает протекание тока по обмоткам W1 и W2 в прямом направлении, и соответственно, формирование (1) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора.

2) При подаче управляющего напряжения на ключи К2 и К3 в течение отрицательного полупериода входного напряжения (ключи К5, К8 остаются замкнуты), ток по обмотке W1 будет протекать в прямом направлении, а по обмотке W2 в обратном направлении, вызывая поворот вектора электромагнитного поля статора в (2) фиксированное положение.

3) В случае подачи управляющего напряжения К6, К7 во время положительного полупериода входного напряжения, при этом ключи К2, К3 остаются замкнуты, тогда по обмоткам W1 и W2 будет протекать ток в обратном направлении, что соответствует повороту вектора электромагнитного поля статора в (3) фиксированное положение.

4) Если подать управление на ключи К1 и К4 во время отрицательного полупериода входного напряжения, а ключи К6 и К7 при этом остаются замкнуты, это вызовет протекание токов по обмотке W1 в обратном направлении, а по обмотке W2 – в прямом направлении, обеспечивая поворот вектора электромагнитного поля статора в (4) фиксированное положение.

Такая последовательность включения ключей позволяет работать двигателю на частоте $f_{дв} = f_c/2$. Временные диаграммы напряжений на обмотках статора электродвигателя для 4-х фиксированных положений вектора электромагнитного поля статора приведены на рисунке 5.

Для формирования вращающегося элек-

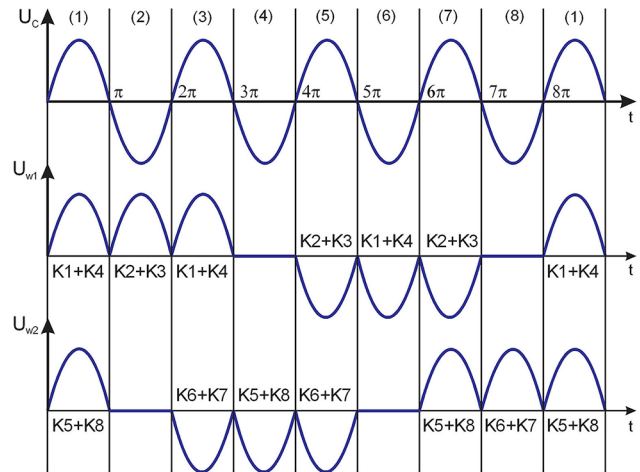


Рисунок 3 – Временные диаграммы работы преобразователя частоты для 8-ми фиксированных положений вектора электромагнитного поля статора

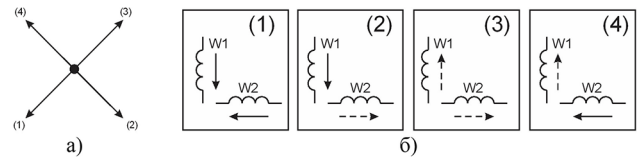


Рисунок 4 – Векторная диаграмма (а) и токи (б) в обмотках электродвигателя для 4-х фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора

тромагнитного поля статора, состоящего из 8-ми последовательных фиксированных положений при одновременном включении по одной обмотке статора за один оборот электродвигателя, необходимо обеспечить направление токов в обмотках статора (рисунок 6).

Для формирования вращающегося вектора электромагнитного поля статора для данного режима необходимо подавать управляющее напряжение на ключи К1...К8 (см. рисунок 1) в следующем порядке:

1) Для формирования (1) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора необходимо подавать напряжение управления на ключи К1, К4 в положительный полупериод входного напряжения, при этом по обмотке W1 протекает ток в прямом направлении.

2) Для реализации (2) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора необходимо обеспечить протекание тока по обмотке W2 в обратном направлении. Для этого напряжение управления снимается с ключей К1 и К4 и подается на

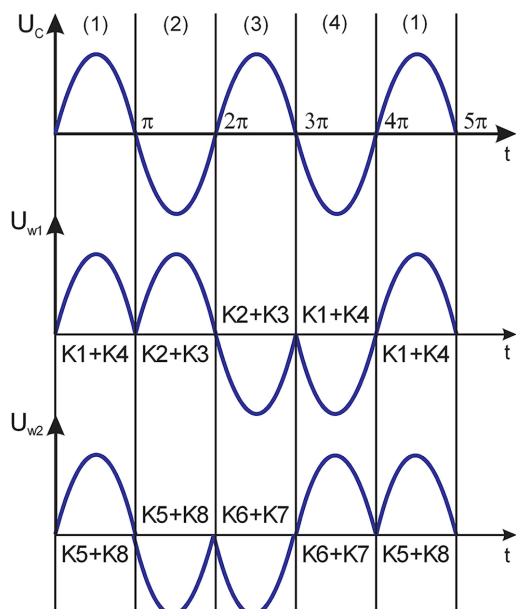


Рисунок 5 – Временные диаграммы напряжений на обмотках статора электродвигателя для 4-х фиксированных положений вектора электромагнитного поля статора

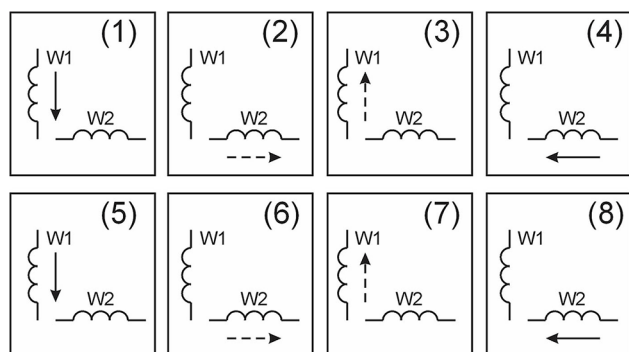


Рисунок 6 – Токи в обмотках статора для 8-ми последовательных фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора при одновременном включении по одной обмотке статора за один оборот электродвигателя

ключи K7 и K6 во время отрицательного полупериода входного напряжения.

3) Подача напряжения управления на ключи K3 и K2, при положительном полупериоде входного напряжения вызовет протекание тока по обмотке W1 в обратном направлении и поворот вектора электромагнитного поля статора в (3) фиксированное положение.

4) Для формирования (4) фиксированного положения вектора электромагнитного

поля статора необходимо подать управляющее напряжение на ключи K5 и K8. В результате ток по обмотке W2 протекает в прямом направлении.

5) Подача управляющего напряжения на ключи K5, K8 в отрицательный полупериод питающего напряжения, вызовет протекание тока по обмотке W1 в прямом направлении – вектор электромагнитного поля статора повернется в (5) фиксированное положение.

6) Если управляющее напряжение снять с ключей K3 и K2 и подать на ключи K8, K5, это вызовет протекание тока по обмотке W2 в обратном направлении – формируется (6) фиксированное положение вектора электромагнитного поля статора.

7) Для поворота вектора электромагнитного поля статора в (7) фиксированное положение необходимо подать управляющее напряжение на ключи K4, K1. Ток в этом случае протекает по обмотке W1 в обратном направлении.

8) Для реализации (8) фиксированного положения вектора электромагнитного поля статора необходимо, чтобы по обмотке W2 протекал ток в прямом направлении. Для этого управляющее напряжение снимается с ключей K4, K1 и подается на ключи K6, K7 во время отрицательного полупериода входного напряжения.

Временные диаграммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя для данного режима показаны на рисунке 7. При

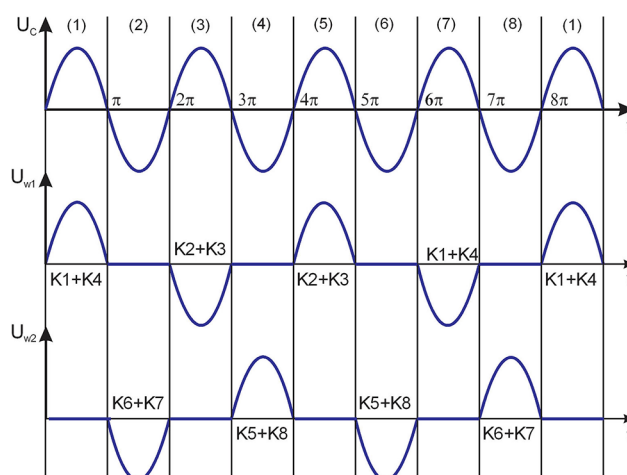


Рисунок 7 – Временные диаграммы напряжений на статорных обмотках электродвигателя для 8-ми последовательных фиксированных положений вектора вращающегося электромагнитного поля статора при одновременном включении по одной обмотке статора

описанных последовательностях включения ключей данный преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока, позволяет работать двигателю на частоте $f_{дв} = f_c$.

Заключение

Регулируя момент подачи управляющего сигнала на коммутационные ключи, можно осуществлять работу электродвигателя при различной частоте питающего напряжения, поступающего на статорные обмотки электродвигателя, а следовательно, и регулирование скорости вращения двигателя.

Сами ключи можно реализовать на базе биполярных или полевых транзисторов или с использованием тиристоров.

Таким образом, применение преобразователя частоты, ведомого сетью для питания однофазного асинхронного однофазного двигателя, имеет преимущества по сравнению с конденсаторным методом вследствие возможности регулирования скорости вращения двигателя.

Таим образом, применение преобразователя частоты, ведомого сетью для питания однофазного асинхронного однофазного двигателя, имеет преимущества по сравнению с конденсаторным методом вследствие возможности регулирования скорости вращения двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольдек А.И. Электрические машины: Учебник для студентов ОНЛАЙН. <https://tech.uch-lit.ru/energetika/voldek-elektricheskie-mashiny-uchebnik>. 24.04.23.
2. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах: учебное пособие / И.И. Алиев. – М.: Издательское предприятие РадиоСофт, 2004. – 128 с.
3. Иванов В.А., Дайч Л.И., Котов Е.С. Моделирование характеристик асинхронного двигателя со скалярным управлением // Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации (Сагиновские чтения № 14): Труды Междунар. науч.-практ. конф. 16-17 июня 2022 г. – Караганда: КарТУ, 2022. – Ч.1. – С. 457-459.
4. Пат. 109938 Российская Федерация, МПК H02P 27/04, H02P 27/18, H02M 5/2275, H02M 5/297. Преобразователь частоты, ведомый однофазной сетью переменного тока для питания однофазного асинхронного двигателя / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, Т.А. Халтобина, Д.С. Халтобин; заявитель и патентообладатель – Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. № 2011120731/07(030633); заявл. 23.05.2011; опубл. 27.10.2011, Бюл. № 30. – 10 с.
5. Еремочкин С.Ю., Стальная М.И. 8-я Всероссийская научно-техническая конференция «Наука и молодежь – 2011». Векторно-алгоритмический метод круговых диаграмм для расчета электрической мощности и электромагнитного момента на валу трехфазного асинхронного короткозамкнутого двигателя при питании от однофазной сети. <http://cdu.seena.ru/publication/5/rclease/54/attachroent/21/>.

Жиілікті түрлендіргіштен бір фазалы асинхронды электр қозғалтқышын қоректендіру

¹*ИВАНОВ Валерий Анатольевич, PhD, аға оқытушы, v.ivanov@kstu.kz,

¹ДАЙЧ Леонид Израилевич, аға оқытушы, l.daych@mail.ru,

¹ЛАПИНА Лариса Михайловна, аға оқытушы, lapinalarissa@mail.ru,

¹ЛИСИЦЫН Дмитрий Владимирович, аға оқытушы, dlisicyn@mail.ru,

¹«Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» КеАҚ, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды, Қазақстан,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Мақалада бір фазалы асинхронды қозғалтқышты айнымалы ток электр желісіне қосу жолдары қарастырылады. Олардың салыстырмалы талдауы берілген. Желіден басқарылатын жиілік түрлендіргішінен бір фазалы асинхронды қозғалтқышты қуаттандыру нұсқасы қарастырылады. Түрлендіргіштің принциптік схемасы, жұмыс істеу принципінің

сипаттамасы, басқару алгоритмі және әртүрлі режимдер үшін жұмыс уақытының диаграммалары келтірілген. Бір фазалы асинхронды қозғалтқыштарды қоректендіру үшін желімен басқарылатын жиілік түрлендіргішін пайдаланудың артықшылықтары негізделген.

Кілт сөздер: бір фазалы асинхронды қозғалтқыш, қосылу схемасы, жылдамдықты бақылау, желілік жиілікті түрлендіргіш.

Power Supply of a Single-phase Asynchronous Electric Motor from a Frequency Converter

¹***IVANOV Valeriy**, PhD, Senior Lecturer, v.ivanov@kstu.kz,

¹**DAICH Leonid**, Senior Lecturer, l.daych@mail.ru,

¹**LAPINA Larissa**, Senior Lecturer, lapinalarissa@mail.ru,

¹**LISSITSYN Dmitriy**, Senior Lecturer, dlisicyn@mail.ru,

¹NPJSC «Abylkas Saginov Karaganda Technical University», N. Nazarbayev Avenue, 56, Karaganda, Kazakhstan,

*corresponding author.

Abstract. The article discusses ways to connect a single-phase asynchronous motor to an AC electrical network. Their comparative analysis is given. The option of powering a single-phase asynchronous motor from a frequency converter driven by the network is considered. A schematic diagram of the converter, a description of the principle of operation, a control algorithm and timing diagrams of operation for various modes are given. The advantages of using a frequency converter driven by the network for powering single-phase asynchronous motors are substantiated.

Keywords: single-phase asynchronous motor, connection diagram, speed control, network-driven frequency converter.

REFERENCES

1. Voldek A.I. Elektricheskie mashiny: Uchebnik dlia studentov ONLAIN. <https://tech.uch-lit.ru/energetika/voldek-elektricheskie-mashiny-uchebnik>. 24.04.23.
2. Aliev I.I. Asinkhronnye dvigateli v trekhfaznom i odnofaznom rezhimakh: uchebnoe posobie. – Moscow: Izdatelskoe predpriiatie RadioSoft, 2004. – 128 p.
3. Ivanov V.A., Daich L.I., Kotov E.S. Simulation of the characteristics of an induction motor with scalar control // PROCEEDINGS «Integration of science, education and production as a basis for implementing the Nation Plan» (Saginov Readings No. 14) 16-17 June 2022. – Karaganda: A. Saginov n.a. KTU Publ. House, 2022. – Part 1. – Pp. 457-459.
4. Pat. 109938 Russia Federation, MPK N02R 27/04, I102P 27/18, N02M 5Z275, N02M 5/297. Preobrazovatel chastoty, vedomyi odnofaznoi setiu peremennogo toka dlia pitaniia odnofaznogo asinkhronnogo dvigatel'ia / M.I. Stalnaia, S.Iu. Eremochkin, T.A. Haltobina, D.S. Haltobin; Applicants: Altaiskiy gosudarstvennyi tekhnicheskii` universitet im. I.I. Polzunova. Application No. 2011120731/07(030633); 23.05.2011; publ. 27.10.2011, Bull. No. 30. – 10 p.
5. Yeremochkin S.YU., Stalnaya M.I. Vektorno-algoritmicheskiiy metod krugovykh diagramm dlya rascheta elektricheskoy moshchnosti i elektromagnitnogo momenta na valu trekhfaznogo asinkhronnogo korotkozamknutogo dvigatelya pri pitanii ot odnofaznoy seti / 8-th Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya «Nauka i molodezh' – 2011». <http://cdu.seena.ru/publication/5/rclase/54/attachroent/21/>.