

Серия «ТРАНСПОРТНЫЕ СРЕДСТВА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»

Автоматизированный контрольно – измерительный стенд для исследования автомобильных и автобусных генераторных установок

к.т.н. Чернов А.Е., к.т.н. доц. Акимов А.В.
Университет машиностроения
(916) 068-18-81, alexzander_66@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается конструкция разработанного авторами стенда для автоматизированного исследования автомобильных и автобусных генераторных установок. Рассмотрены основные типы приводов и систем управления для стенда. Выбран оптимальный тип и мощность асинхронного привода и блока управления. Разработан автоматизированный программно – измерительный комплекс для автоматизированного исследования энергетических и тепловых процессов. Приведена схема для исследования переходных процессов, происходящих в системе электроснабжения в условиях реальной эксплуатации. Приведен автоматизированный алгоритм управления асинхронным приводом стенда.

Ключевые слова: генераторная установка, асинхронный двигатель, привод, система электроснабжения, программно – измерительный комплекс, энергетические процессы, тепловые процессы, потребители, качество электроэнергии, надежность системы, переходные процессы, система автоматического управления, частотное регулирование, преобразователь, обмотки, датчики, ротор, потокосцепление, байт, алгоритм.

В силу своих конструктивных особенностей асинхронная машина лишена ряда недостатков, присущих машинам постоянного тока. В частности, отсутствие коллектора и щеток в асинхронном двигателе (АД) обуславливает большую предельную единичную мощность, лучшие массо-габаритные показатели, более высокую перегрузочную способность и допустимую скорость изменения момента, более высокие скорости вращения, чем у машины постоянного тока. Известно, что преимущества АД наиболее полно реализуются при частотном управлении, что обуславливает постоянное вытеснение регулируемого электропривода постоянного тока частотно-регулируемым асинхронным электроприводом [1].

С разработкой и освоением серийного производства мощных силовых полупроводниковых приборов появилась возможность широкого применения мощных высоковольтных преобразователей частоты (ПЧ) для питания обмоток АД. Таким образом, появилась возможность создания регулируемых по скорости мощных асинхронных электроприводов.

Известно, что механические и динамические характеристики, энергетические показатели АД в частотно-регулируемом электроприводе определяются: принятым законом частотного управления, способом частотного управления, алгоритмической и аппаратной реализацией автоматической системы регулирования (АСР) электропривода.

Несмотря на большое количество разработанных и исследованных структур АСР для низковольтных электроприводов, применение их для мощных высоковольтных электроприводов не представляется возможным. Это связано с особенностями электропривода, а именно:

- со значительным усложнением непосредственного измерения параметров электропривода;
- с условием минимальной асимметрии питающих токов, вытекающей из требования к повышенной энергетике электропривода;
- с применением трехфазного двухобмоточного АД, питающегося от двухсекционного преобразователя частоты, при улучшенных энергетических, регулировочных свойствах и

используемого способа наращивания выходной мощности.

Таким образом, на основании анализа приведенных способов и технических устройств частотного управления асинхронными электроприводами можно сделать следующие выводы [2].

Для мощных электроприводов, работающих с постоянным моментом сопротивления на валу с частыми пуско-тормозными режимами, целесообразно применение закона частотного управления с постоянством потокосцепления ротора, отличающегося наивысшей перегрузочной способностью и обеспечивающего наилучшие динамические свойства двигателя.

В силу своих преимуществ по сравнению с другими способами частотного управления, а именно: простоте технической реализации (по сравнению с векторными способами) и лучшими динамическими и статическими показателями (по сравнению с амплитудными способами) предпочтителен квазивекторный способ частотного управления.

Для наращивания мощности электропривода и одновременного повышения его энергетических показателей используются трехфазные двухобмоточные двигатели с пространственным сдвигом между трехфазными статорными обмотками, питающимися от двух трехфазных преобразователей частоты токами (напряжениями) с фазовым сдвигом в 30 эл.град.

Известные в настоящее время технические устройства для частотного управления асинхронным электроприводом в полной мере не отвечают требованиям, предъявляемым к мощному высоковольтному электроприводу и им присущи следующие недостатки:

- ограниченная низкоскоростными электроприводами область применения, необходимость изготовления специальной машины или переделка серийной, применение специальных устройств для механического сочленения валов, невозможность применения в запыленных и агрессивных средах, что обусловлено наличием датчиков на валу и внутри машины;
- высокая сложность технической реализации, обусловленная наличием сложных технических устройств: координатного преобразования, векторных фильтров, фазовращателей, функциональных преобразователей, блоков коррекции мгновенного значения частоты;
- наличие большого числа датчиков, осуществляющих высоковольтную гальваническую развязку;
- невысокая надежность, что обусловлено наличием датчиков на валу и внутри машины, высокой сложностью технической реализации блоков АСР, датчиков, осуществляющих высоковольтную гальваническую развязку.

Известные в настоящее время технические устройства для частотного управления асинхронным электроприводом в полной мере не отвечают требованиям, предъявляемым к мощному высоковольтному электроприводу и им присущи следующие недостатки:

- ограниченная низкоскоростными электроприводами область применения, необходимость изготовления специальной машины или переделка серийной, применение специальных устройств для механического сочленения валов;
- высокая сложность технической реализации, обусловленная наличием сложных технических устройств: координатного преобразования, векторных фильтров, фазовращателей, функциональных преобразователей, блоков коррекции мгновенного значения частоты;
- наличие большого числа датчиков, осуществляющих высоковольтную гальваническую развязку;
- невысокая надежность, что обусловлено наличием датчиков на валу и внутри машины, высокой сложностью технической реализации блоков АСР, датчиков, осуществляющих высоковольтную гальваническую развязку.

При частотном управлении асинхронными двигателями наиболее часто используются следующие законы: поддержание постоянства потокосцепления статора ($\Psi_1 = \text{const}$), поддержание постоянства главного потока машины ($\Psi_0 = \text{const}$), поддержание постоянства потокосцепления ротора ($\Psi_2 = \text{const}$) и регулирование величины потокосцепления в зависимости от величины нагрузочного момента ($\Psi_1, \Psi_0, \Psi_2 = f(M)$).

Первый закон реализуется при поддержании постоянного отношения ЭДС статора к уг-

ловой частоте поля. Основным недостатком такого закона является пониженная перегрузочная способность двигателя при работе на высоких частотах, что обусловлено увеличением индуктивного сопротивления статора и, следовательно, снижением потокосцепления в воздушном зазоре между статором и ротором при увеличении нагрузки.

Поддержание постоянства главного потока повышает перегрузочную способность двигателя, но усложняет аппаратную реализацию системы управления и требует либо изменений конструкции машины, либо наличия специальных датчиков.

При поддержании постоянного потокосцепления ротора, момент двигателя не имеет максимума, однако при увеличении нагрузки увеличивается главный магнитный поток, приводящий к насыщению магнитных цепей и, следовательно, к невозможности поддержания постоянства потокосцепления ротора.

Общим недостатком законов с поддержанием постоянства потокосцепления являются: низкая надежность, обусловленная наличием датчиков, встраиваемых в двигатель, и потери в стали при работе двигателя с нагрузочным моментом меньше номинального. Эти потери вызваны необходимостью поддержания постоянного номинального потокосцепления в различных режимах работы.

Существенно повысить КПД двигателя можно путем регулирования магнитного потока статора в зависимости от величины нагрузочного момента. Недостатками такого управления являются низкие динамические характеристики привода, обусловленные большой величиной постоянной времени ротора, из-за чего магнитный поток машины восстанавливается с некоторой задержкой и сложность технической реализации системы управления.

На практике группа законов с постоянством магнитного потока получила распространение для динамичных электроприводов, работающих с постоянным моментом сопротивления на валу и с частыми ударными приложениями нагрузки. В то время как группа законов с регулированием магнитного потока в функции нагрузки на валу применяется для низкодинамичных электроприводов и для приводов с «вентиляторной» нагрузкой.

В то же время существует ряд приводов таких механизмов как насосы, компрессоры, конвейеры и т.д., которые занимают промежуточное положение между динамичными и низкодинамичными и для которых существующие системы не в полной мере удовлетворяют предъявляемым к этим приводам требованиям. Высокодинамичные привода имеют сложную систему управления и повышенные энергетические потери при недогрузе двигателей, а низкодинамичные привода не всегда способны отработать быстрые изменения статического момента.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что существующие системы не в полной мере отвечают требованиям, предъявляемым к электроприводу для контрольно-измерительного стенда для исследования автомобильных и автобусных генераторных установок. Система управления должна обеспечивать достаточно высокое быстродействие, надежность и высокие энергетические характеристики привода.

Как уже было отмечено, высокими энергетическими характеристиками обладают системы с регулированием магнитного потока в функции нагрузки. Увеличить их динамические характеристики можно путем форсировки статорного напряжения (тока) во время переходных процессов и частых формирований управляющих воздействий. Получить высокую надежность можно за счет применения упрощенной системы регулирования, отказа от встроенных в двигатель и механически связанных с ротором датчиков.

Для реализации поставленных задач система должна обеспечивать:

- пуск и останов двигателя;
- изменение частоты вращения вала двигателя;
- регистрацию (вывод на экран и печать) основных параметров двигателя (информация должна представляться на экране оператору в удобной для чтения форме: в виде таблиц и графиков);
- экстренный останов двигателя в случае поступления аварийного сигнала от датчиков (при отклонении параметров от допустимых технологических пределов).

Для контроля скорости вала двигателя используется тахогенератор, сопряженный с валом рабочего двигателя, сигнал от которого заведем на аналогово-цифровой преобразователь, находящийся непосредственно в разрабатываемой системе.

Сигналы от АЦП будем передавать на однокристальный микроконтроллер Intel87C51FX.

Для получения информации о процессах, происходящих в системе, потребуются датчики. Для коммутации датчиков с модулем микроконтроллера используем принцип опроса и передачи информации о состоянии дискретных датчиков. Сопряжение будет осуществляться по линии связи посредством кабеля ТРШ.

Для гальванической развязки цепей линии связи и цепей микроконтроллера используются оптроны, которые необходимы для преобразования сигналов, представленных в линии связи импульсами тока в импульсы напряжения ТТЛ-уровня.

Разработку структурной схемы автоматического управления асинхронным двигателем необходимо начать с контроля температуры корпуса двигателя, частоты вращения вала двигателя.

Кроме того, для получения информации о скорости вращения вала двигателя использован тахогенератор, вал которого жестко сопряжен с валом рабочего двигателя. Двухпроводная линия связи соединяет тахогенератор с блоком управления.

Для контроля работы двигателя и ведения статистики этой работы контроллер соединяется с ЭВМ верхнего уровня.

Таким образом, структурная схема будет содержать систему датчиков, устройства сбора и промежуточной передачи информации, устройство управления работой установки и машины верхнего уровня.

Функциональную схему можно условно разбить на блоки:

- блок центрального процессора;
- блок ввода и преобразования аналоговых сигналов;
- блок ввода-вывода дискретных сигналов;
- линейные модули;
- блок гальванических развязок.

Блок центрального процессора

Блок центрального процессора содержит однокристальный микроконтроллер, микросхему ППЗУ и устройства сопряжения. Для обеспечения доступа к памяти на разрешающий вход микросхемы ППЗУ заведен стробирующий выход адреса контроллера ALE, который свидетельствует об установке адреса ячейки памяти ППЗУ на шине. При наличии сигнала выбора микросхемы для ППЗУ, оно (ППЗУ) выставляет на шину данных содержимое ячейки по указанному адресу. В остальных случаях выходы микросхемы памяти находятся в высокоимпедансном состоянии.

Также один из портов контроллера используется как вход от блока ввода и преобразования аналоговых сигналов, как строб завершения преобразования.

Четыре бита этого же порта используются для управления и опроса блока ввода дискретных сигналов, причем два бита – как управляющие и два – как информационные.

Блок ввода и преобразования аналоговых сигналов

Базовым элементом блока ввода и преобразования аналоговых сигналов является аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который преобразует сигнал постоянного двупольного тока в цифровой десятиразрядный двоичный код.

При поступлении сигнала на разрешение преобразования от контроллера АЦП замеряет сигнал на входе и после завершения преобразования вместе с сигналом “Конец преобразования” выставляет на шину данных код.

Блок ввода-вывода дискретных сигналов

Блок ввода дискретных сигналов предназначен для ввода, нормализации и гальванической развязки сигналов от дискретных датчиков. Блок ввода дискретных сигналов работает

совместно с выносными линейными модулями, объединение которых производится двухпроводной линией связи.

Опрос датчиков осуществляется последовательно время-импульсным квитированием сигналов. Цикл опроса разбит на два временных интервала – подготовительный и контрольный. Подготовительный сигнал необходим для заряда линейных модулей. Контрольный интервал разбит на 64 временных позиции, 62 из которых несут информацию о состоянии датчиков, 2 позиции выделены для контроля обрыва проводов линии связи.

Блок ввода дискретных сигналов формирует в линию связи специальные положительные и отрицательные импульсы. Импульсами положительной полярности производится питание и синхронизация работы модулей линейных. Ответные импульсы от модулей линейных формируются во время прохождения импульсов отрицательной полярности.

В автоматизированной системе управления асинхронным двигателем, связь контроллера осуществляется через последовательный канал связи. При этом используется принятый фирмой IBM интерфейс RS-232С.

Схема гальванической развязки приемопередатчика микроконтроллера

Схема гальванической развязки приемопередатчика микроконтроллера предназначена для гальванической развязки линии связи и микроконтроллера, а также для преобразования сигнала передатчика TxD из ТТЛ-уровня в токовый параметр линии связи и сигнала, поступающего из линии связи, в сигнал RxD приемника ТТЛ-уровня.

Протокол информационного канала реализуется при помощи программного обеспечения, зашитого в ПЗУ. Информационный канал придает передаваемому сообщению определенную форму, и в соответствии с этой формой упаковывает сообщение при передаче, и распаковывает при приеме.

Аналогичную задачу должно решать программное обеспечение абонента.

Сообщение – это оформленная по определенным правилам последовательность байтов, имеющих, помимо функционально законченной смысловой части, также признак начала и конца сообщения.

Для передачи данных составим протокол обмена между контроллером и ЭВМ по последовательному каналу.

Обмен терминал-контроллер: посылки состоят из 5-ти байт.

1-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	X	X	X	X	X	X

где: D7-D6 – признак старт-байта; D5-D0 – поле команды.

2-й и 3-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	X	X	X	X	X	X

где: D5-D0 – 6 битов поля данных.

4-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	X	X	X	X	X	X

где: D5-D2 – 4 младших бита старшего байта контрольной суммы (D3-D0);

D1-D0 – 2 старших бита младшего байта контрольной суммы (D7-D6).

5-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	X	X	X	X	X	X

где: D5-D0 – 6 младших битов младшего байта контрольной суммы.

Коды команд обмена “терминал-контроллер” помещены в таблицу:

Включить двигатель	00H
Выключить двигатель	01H
Передать состояние 1-го и 2-го датчиков	02H

Передать состояние 3-го и 4-го датчиков	03H
Установить значение разгона (значение содержится в поле данных 2 и 3-го байта команды)	04H
Передать значение тахометра	05H

Обмен контроллер-терминал: посылки состоят из 6-ти байт.

1-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
1	1	X	X	X	X	X	X

где: D7-D6 – признак старт-байта; D5-D0 – поле команды.

2-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	*	*	X	X	X	X

где: D5-D4 – состояние пускателей “пуск” и “стоп”; D3-D0 – поле данных.

3-й и 4-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	X	X	X	X	X	X

где: D5-D0 – поле данных.

5-й и 6-й байт:

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
0	0	X	X	X	X	X	X

где: D5-D0 – значение контрольной суммы (аналогично обмену “терминал-контроллер”).

Коды команд обмена “контроллер-терминал” помещены в таблицу:

Данные 1-го и 2-го датчиков	00H
Данные 3-го и 4-го датчиков	01H
Данные разгона двигателя	02H
Данные тахометра	03H

Для автоматизации исследований разработан программно-измерительный комплекс, предназначенный для исследования переходных энергетических, тепловых и вибрационных процессов, протекающих в системах и компонентах электрооборудования автомобиля в условиях реальной эксплуатации автомобиля и при проведении лабораторно-стендовых испытаний, а также для определения момента сопротивления двигателя внутреннего сгорания при пуске непосредственно на автомобиле. Под энергетическими процессами понимается изменение во времени токов и напряжений в элементах и системах электрооборудования автомобиля; под тепловыми – изменение во времени температуры элементов и систем электрооборудования автомобиля. В состав программно-измерительного комплекса, общий вид которого представлен на рисунке 3, входят:

- блок измерительных модулей;
- переносной компьютер ASUS L8400 Series Notebook PC s/n 14 NQ 014624, процессор Intel Pentium III 850 MHz, 128 MB RAM, 20 GB Hard Drive;
- автономный блок питания для подключения АЦП и переносного компьютера;
- специальный датчик AD - 592 для измерения температуры;
- комплекс программ записи и обработки исследуемых параметров.

Программно-измерительный комплекс с использованием переносного компьютера является удобным, мощным и эффективным средством для исследования и анализа режимов работы систем и компонентов электрооборудования автомобиля в условиях реальной эксплуатации. Программно-измерительный комплекс может также использоваться при измерениях и исследованиях, при проведении лабораторно-стендовых испытаний и в испытательных боксах. Технические характеристики блока измерительных модулей программно-измерительного комплекса:

Блок измерительных модулей обеспечивает измерение и преобразование в цифровой код, доступный для считывания переносным компьютером, следующие аналоговые сигналы.

Постоянное напряжение в диапазоне от 0 В до 10 В; погрешность измерений $\pm 0,006\text{В}$; время измерений 20 мс. Количество каналов измерений равно 8. Наличие встроенного регулируемого делителя позволяет расширить диапазон измеряемого напряжения до 100 В.

Постоянный ток в диапазоне от 0 А до 600 А; время измерения 100 мкс, погрешность измерений 0,03 А. Количество каналов измерений равно 16.

Температура в диапазоне от -25°C до $+300^{\circ}\text{C}$. Измерения проводятся с помощью калиброванной термопары или специальных датчиков. Количество каналов 8. Точность измерения $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, время измерений 20 мс.

Каждый измерительный канал блока измерительных модулей имеет индивидуальную гальваническую развязку. Гальваническая развязка выдерживает между любым из входов и корпусом прибора или между двумя входами напряжение не менее 500 В.

Диапазон рабочих температур АЦП от $+5^{\circ}\text{C}$ до $+50^{\circ}\text{C}$.

Программно-измерительный комплекс имеет следующие возможности:

- количество одновременно измеряемых величин - 34;
- конечное число измерений ограничивается лишь объемом жесткого диска.

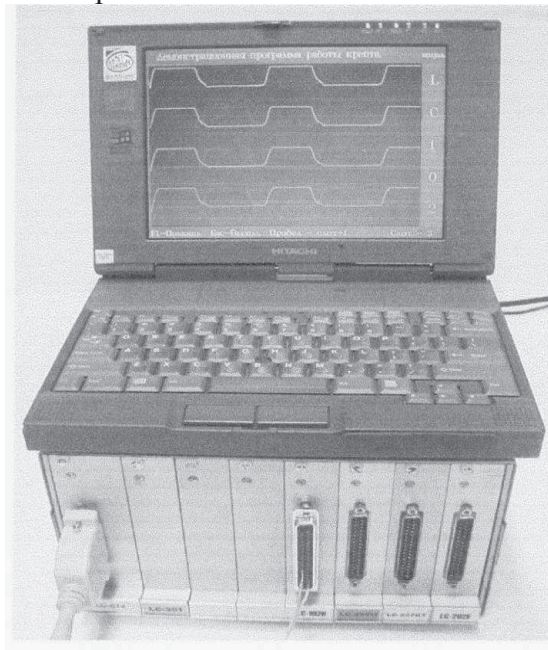


Рисунок 1. Общий вид программно-измерительного комплекса

Функциональная блок-схема программно-измерительного комплекса представлена на рисунке 2.

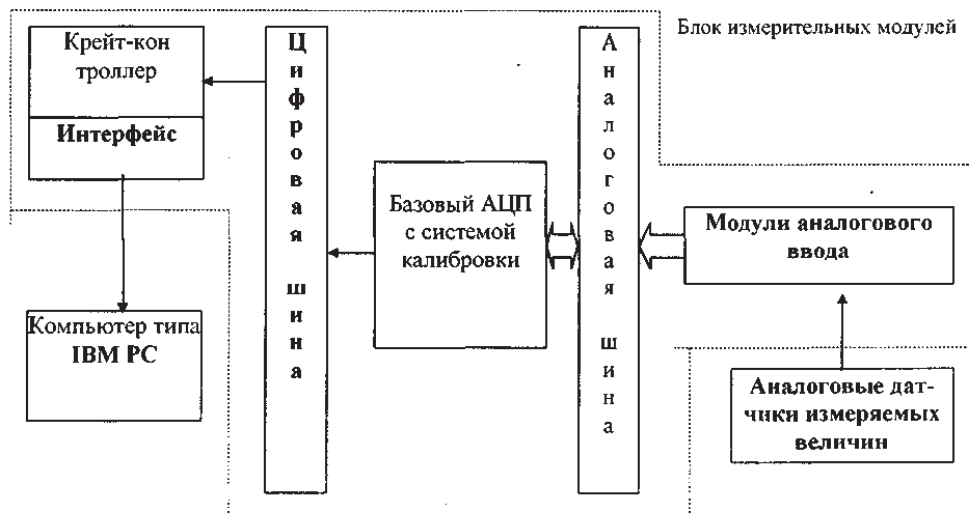


Рисунок 2. Функциональная блок-схема программно-измерительного комплекса

При объеме жесткого диска 1,2 Гбайт суммарное время эксперимента - 6 часов при использовании максимального количества каналов АЦП.

Принцип работы программно-измерительного комплекса заключается в следующем:

Сигналы с датчиков измеряемых величин поступают на входы модулей аналогового ввода блока измерительных модулей, где некоторые из этих сигналов усиливаются [3]. Базовый АЦП блока измерительных модулей преобразует аналоговые величины в цифровые, которые через интерфейс блока измерительных модулей передаются в персональный компьютер, где производится запись данных в файл на жесткий диск или в память компьютера, а также обработка этих данных. Обработанные данные могут быть сохранены как в графическом, так и табличном видах. В последующем, при статистической обработке, имеется возможность перекодировать полученные данные в файл с форматом распознаваемым программой EXCEL® (Microsoft®). Компьютерное программное обеспечение позволяет пользователю осуществлять просмотр данных в реальном масштабе времени при их записи и последующем просмотре в графическом или табличном видах, проводить дальнейшую обработку исследуемого сигнала во временной и частотных областях (устранение постоянной составляющей, сглаживание сигнала путем усреднения, проводить расчет амплитудно-частотной характеристики исследуемого процесса, статистический анализ и др.). Для обеспечения достаточно точных результатов измерений проводится калибровка каждого измерительного канала соответствующего измерительного модуля. Калибровка измерительного канала может осуществляться как в многоканальном режиме (отдельно датчик, submodule и измерительный канал), так и в сквозном (датчик – канал) режиме. Для получения достаточно точной характеристики канала при калибровке канала необходимо задать не менее 10 контрольных точек, равномерно распределенных от минимума до максимума эффективного диапазона измерений.

Литература

1. Чернов А.С. Качество и надежность систем электроснабжения автономных объектов // Грузовик, № 3, 2012, с. 8-14.
2. Чернов А.С., Акимов А.В. Системы электроснабжения АТС с Интеллектуальными алгоритмами, обеспечивающие повышение экологических и энергетических показателей // Известия МГТУ «МАМИ» № 1(13), 2012, с. 101-105.
3. Варламов Д.О., Еременко В.Г., Лавриков А.А. Моделирование устройства балансировки с рассеивающими резисторами для питания литий-ионной аккумуляторной батареи // Практическая силовая электроника, 2013, № 52(4), с. 43-47.

Применение магнитотвердых материалов в электрических машинах на транспортных средствах

Розин П.А., к.т.н. доц. Акимов А.В.
Университет машиностроения
(495) 223-05-29, ate@mami.ru

Аннотация. Рассмотрены наиболее распространённые типы постоянных магнитов, проведен анализ их свойств, а также положительные и отрицательные свойства.

Ключевые слова: электродвигатели постоянного тока с возбуждением от постоянных магнитов, магнитотвердые материалы, ферриты, производство ферритов, магнитопласты неодим-железо-бор, петля гистерезиса.

Постоянные магниты широко применяются как автономные источники постоянного магнитного поля в электротехнике, радиотехнике, автоматике, используются в электрооборудовании современных отечественных и зарубежных автомобилей, обеспечивая экономию цветных металлов и снижение массогабаритных характеристик как отдельных элементов электрооборудования, так и автомобиля в целом. Электрические машины с постоянными