

УДК 621.337.22

## Цифровые принципы построения бесконтактных электронных контроллеров машиниста для управления транспортными средствами

Калининченко Анатолий Яковлевич, доктор технических наук, профессор, директор  
НПК Компания «ИНТЕГРАЛ», г. Москва

*В данной статье рассматриваются принципы построения электронных контроллеров машиниста электроподвижного состава, которые позволяют повысить технологичность их изготовления и обслуживания, снизить расходы цветных металлов, повысить качественный уровень изделия, степень унификации, функциональную надежность и безопасность, упростить сопряжение с бортовыми и напольными компьютерами.*

**Ключевые слова:** электронные контроллеры машиниста, тяговые двигатели, электроподвижной состав, микроэлектронные системы управления, надежность функциональная и аппаратная.

Основной тенденцией в совершенствовании электрического подвижного состава (ЭПС) является использование полупроводниковой техники и микроэлектроники в пускорегулирующей аппаратуре и непосредственно в системах управления. Такая ориентация на полупроводниковую технику оправдывается необходимостью снижения материалоемкости аппаратуры, трудоемкости при ее изготовлении и обслуживании, а также улучшением функциональных и логических возможностей систем управления [1с.12].

Несмотря на применение в силовых схемах ЭПС и в системах управления полупроводниковой техники, микропроцессоров и бортовых компьютеров, основной орган управления — контроллер машиниста за весь период развития схмотехники не претерпел качественных изменений. Этот аппарат контактно-кулачкового типа отличается большими массогабаритными показателями и большой трудоемкостью при изготовлении и обслуживании. Для получения  $m$  управляющих сигналов при таких принципах построения контроллеров машиниста (КМ) требуется применение  $m$  источников информации (кулачковых элементов).

Применение цифровых принципов для построения контроллеров машиниста транспортных средств позволяет существенно упростить конструкцию этого аппарата — выполнить ее блочной, разместив узлы в шкафах управления, и сократить монтажные работы. Блок-схема (рис. 1) электронного контроллера машиниста содержит задатчик режимов работы ЗРД, который представляет собой бесконтактные датчики  $D$  (фото или магнитные) в сочетании с металлической пластиной, находящейся на оси рукоятки контроллера машиниста. С выходов ЗРД, число которых равно количеству датчиков ( $n$ ), сигналы и их комбинации поступают на логический блок (ЛБ), выполненный в виде элементов НЕ и дешифратора (ДШ), преобразующего двоичные коды в позиционный код на одном из выходов ДШ. Через распределительный блок (РБ) сигналы по выходам  $m \neq m'$  поступают на исполнительный блок (ИБ). При использовании двоичной системы счисления число датчиков должно удовлетворять условию  $m \leq 2^n - 1$ .

Так, для вагонов метро, число режимов работы которого равно семи  $m = 7$  («Ход 1», «Ход 2», «Ход 3», «Выбег», «Тормоз 1», «Тормоз 2», «Тормоз 3») достаточно применить три датчика, для другого ЭПС имеющего до 16 позиций — четыре датчика, до 32-х позиций — пять датчиков и т. д. Для получения семи позиций необходимо в ЛБ преобразовать сигналы, поступающие с датчиков, в соответствующую команду (табл. 1).

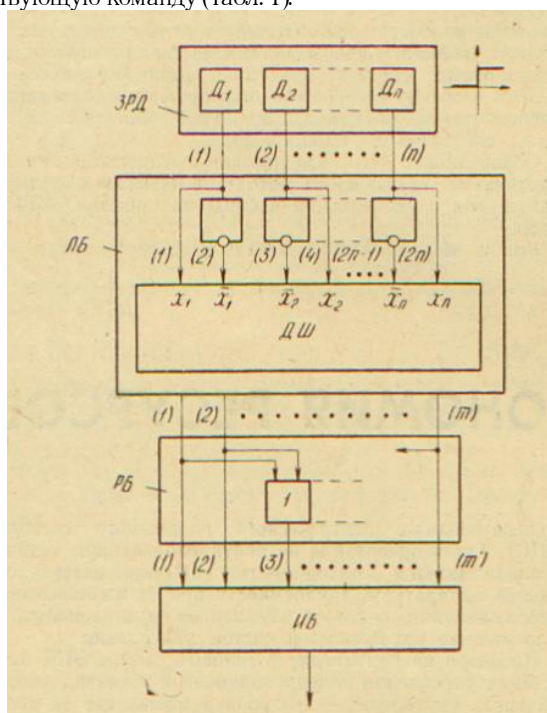


Рис. 1. Блок-схема электронного контроллера машиниста транспортного средства

Таблица 1. Комбинации сигналов на выходах бесконтактных датчиков

Номер-датчика	Режим работы						
	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	выбег	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
D <sub>1</sub>					+	+	+
D <sub>2</sub>	+	+					+
D <sub>3</sub>	+		+			+	

Режим «Выбег» соответствует отсутствию сигналов на выходах датчиков. Задание одной из команд при помощи ЭКМ можно представить как:

$$F_{(i)} = \bigcup_{n=1}^m (f_i), \quad (1)$$

где:  $i = 1, 2, 3, \dots, (2^n - 1)$  — номер заданной позиции регулирования;

$f_i$  — конъюнкция переключательной функции, соответствующая  $i$ -й позиции.

Каждая конъюнкция переключательной функции представляет собой подмножество множества  $F$ , т. е.  $f_i \in F$ . Нормальная дизъюнктивная форма функции, реализуемой в ЛБ, равна:

$$F(x_1, x_2, x_3) = x_1^- x_2^- x_3 V x_1^- x_2 x_3^- V x_1 x_2^- x_3^- V x_1 x_2 x_3 V x_1 x_2^- x_3 V x_1 x_2 x_3^-, \quad (2)$$

где:  $x, x^-$  — соответственно прямые и инвертированные выходы датчиков.

Учитывая, что на каждой позиции ЭКМ реализуется конъюнкция единицы, выражение (2) можно представить как:

$$\bigvee_{i=0}^{\varphi} (\Delta_{j=1}^{\varepsilon} F_{(i)}) \quad (3)$$

где:  $\varphi = 2^n - 1$  — число дизъюнкций;

$\varepsilon = n$  — ранг конъюнкции.

После синтеза функции (2) ДШ ЛБ реализуется в виде простых импликант:

$$F(x_1, x_2, x_3) = x_1 x_2^- V x_1 x_3 V x_3^- \text{ или } F = x_1 x_2 V x_1 x_3^- V x_3^- \quad (4)$$

Однако при изложенных выше принципах построения ЭКМ для ЭПС с большим числом позиций регулирования тягового и тормозного усилия, например для электровозов и тепловозов, применяются

$\log_2 \geq [(m_x + m_t) - 1] \quad (5)$  — датчики (источники информации), где  $m_x, m_t$  — соответственно число ходовых и тормозных позиций.

Так, для электровозов, имеющих более 32-х позиций регулирования, необходимо применить шесть датчиков. Учитывая, что для повышения надежности такого КМ требуется резервирование основных узлов, в том числе и датчиков, такой принцип построения КМ приводит к использованию завышенного числа элементов.

Наши исследования показывают, что возможно применение в конструкции ЭКМ транспортного средства всего лишь двух датчиков независимо от числа позиций регулирования [2, с. 2]. Анализ порядка - временной зависимости задаваемых позиций от состояний датчиков при двоичном кодировании показывает, что при кодировании команд, задаваемых ЗРД, в режиме тормоза и пуска происходит повторение кодовых комбинаций, соответствующих младшим разрядам (двум). Это повторение происходит при различных кодовых комбинациях старших разрядов, например, для городского электротранспорта — одного разряда.

Изменив порядок выполнения одинаковых кодовых комбинаций в режиме пуска и торможения, можно однозначно определить конкретный режим работы. Так, если после режима "Выбег" первоначально в работу вступает датчик D<sub>1</sub>, будут собираться пусковые позиции и при вступлении в работу датчика D<sub>2</sub> — тормозные позиции (табл. 2).

Таблица 2. Работа бесконтактного контроллера при двух датчиках

Номер датчика	Режим работы						
	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	выбег	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
D <sub>1</sub>	—	—	—			—	—
D <sub>2</sub>	—	—			—		—
Признак "Ход"	—	—	—				
Признак "Тормоз"				—	—	—	—

Т. е. при таком построении ЭКМ требуется выделение признака режима. Как видно из табл. 2, отмена ходовых режимов происходит в положении "Выбег", в котором задается признак режима "Тормоз", что позволяет при нахождении рукоятки ЭКМ в положении "Выбег" при ложной подаче кодовых комбинаций на ДШ в случае попадания постороннего питания задать одну из тормозных команд с целью повышения безопасности движения.

При установке рукоятки ЭКМ в положение "Выбег" с выходов элементов HE<sub>1</sub>, HE<sub>2</sub> сигналы через элемент И<sub>1</sub> поступают на один раздельный вход триггера T<sub>1</sub>, устанавливая его в такое состояние, при котором появляется сигнал на его раздельном выходе, задавая признак "Тормоз".

Одновременно сигнал с выхода И<sub>1</sub> поступает на один раздельный вход триггера T<sub>3</sub> что приводит к подаче сигнала с выхода этого триггера на один вход И<sub>2</sub>. При переводе рукоятки ЭКМ в положение X<sub>1</sub> на второй вход И<sub>2</sub> поступит сигнал с D<sub>1</sub>, что приведет к изменению состояния триггера T<sub>1</sub> и, тем самым, к изменению признака "Тормоз" на "Ход". При последующих изменениях положений рукоятки ЭКМ в пределах пусковых позиций триггер T<sub>1</sub>, не изменит свое состояние, обеспечивая выполнение режимов работы в соответствии с данными табл. 2, что осуществляется в ДШ ЛБ, на который подаются признаки режимов работы к сигналам с выходов D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, HE<sub>1</sub>, HE<sub>2</sub>. При необходимости изменить режим работы транспортного средства рукоятка ЭКМ вновь пройдет положение "Выбег", что приведет к изменению режима "Ход" на

"Тормоз". При переводе рукоятки в положение  $T_1$  с выхода датчика  $D_1$ , сигнал совпадает в элементе  $I_3$  с сигналом, поступающим с выхода триггера  $T_1$ , что приведет к изменению состояния второго триггера  $T_2$  к запрещению прохождения сигнала через элемент  $I_2$  на другой вход триггера  $T_1$ , т. е. к запрещению выполнения ходовых режимов при задании одной из тормозных команд. Алгоритм управления, формирования заданных режимов работы может быть совершенно различным.

Управление транспортным средством с большим количеством позиций с помощью ЭКМ, содержащего два датчика, осуществляется многократным повторением одних и тех же комбинаций с различными признаками режимов работы и в пределах одного режима работы — с различными зонами работы (табл. 3, составленная для случая  $m_1 = 15$ ,  $m_2 = 15$ ).

Признак зоны изменяется при каждом очередном граничном положении рукоятки ЭКМ в пределах одной зоны (код 1—1), что достигается подключением к выходам датчиков  $D_1$  к  $D_2$  элемента  $I_4$ , выход которого подключен к блоку реверсирования  $БР$ . Выходы  $БР$  подключены к входу сложения и вычитания реверсивного счетчика  $РС$  для обеспечения набора или возврата позиций в пределах одного режима работы транспортного средства при изменении направления движения рукоятки ЭКМ.

Таблица 3. Работа электронного контроллера с двумя датчиками при необходимости включения 15-ти позиций управления (тормоз и ход)

№	X15	X14	X13	...	X4	X3	X2	X1	0	T1	T2	T3	...	T12	T13	T14	T15
$D_1$	—		—		—	—		—			—	—				—	—
$D_2$	—	—				—	—			—		—			—		—

Признаки зон

№	X15	X14	X12	...	X4	X3	X2	X1	0	T1	T2	T3	...	T12	T13	T14	T15
$I_3$						—	—	—		—	—	—					
$II_3$					—												
$IV_3$	—	—	—	...	...	...	...	...	...	...	...	...		—	—	—	—

Признак режима

№	X15	X14	X12	...	X4	X3	X2	X1	0	T1	T2	T3	...	T12	T13	T14	T15
Ход	—	—	—	—	—	—	—	—									
Тормоз									—	—	—	—	—	—	—	—	—

Рассмотренные выше принципы построения ЭКМ транспортных средств позволяют сократить весовые, габаритные показатели контроллеров, повысить технологичность их изготовления и обслуживания, снизить расходы цветных металлов, повысить качественный уровень изделия, степень унификации, надежность и функциональные возможности контроллеров, упростив сопряжение с системой управления непосредственно электроподвижным составом, ликвидировать бесконечное количество контактных элементов в пультах управления, существенно повысить функциональную и аппаратную надежность и срок службы одного из основных узлов системы управления транспортным средством, упростить процедуры сопряжения органа управления движения транспортного средства с бортовым компьютером.

#### Литература:

1. Ефремов И.С., Калинин А.Я. Функциональная надежность электронных контроллеров машиниста ЭПС. Электротехническая промышленность. Серия «Тяговое и подъемно-транспортное электрооборудование», 1984, №2, с.9 — 11.
2. Калинин А. Повышение надежности электронных систем управления ЭПС. Научный журнал «Актуальные вопросы образования и науки», Санкт-Петербург, 2012, №1 — 2, с.90 — 93