

# АЛГОРИТМ ДВУХЗОННОГО УПРАВЛЕНИЯ КОМБИНИРОВАННЫМ ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ НАПРЯЖЕНИЯ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА

*Приведено схематехническое решение импульсного преобразователя, построенного по критерию минимизации электроэнергетических потерь в элементах как самого преобразователя, так и в комплекте тягового электропривода.*

*Изложена стратегия и тактика построения алгоритма двухзонного управления комбинированным импульсным преобразователем напряжения тягового двигателя электровоза с питанием от автономного источника (аккумуляторной батареи).*

*О.Н. Синчук*

*Доктор технических наук, профессор. Директор инженерного центра ОАО «Электромашина», ул. Муранова 106, г. Харьков, Украина*

*Контактный тел.: +38(057)772-88-09*

*О.А. Удовенко*

*Магистр, преподаватель 1-й категории Украинского политехнического техникума, Военный городок 33, г.Кривой Рог, Украина*

*А.А. Чернышов*

*Инженер СКБ ОАО «Электромашина», ул. Муранова 106, г. Харьков, Украина*

*Контактный тел.: +38(057)772-88-09*

## Введение

Импульсные преобразователи напряжения в тяговом электроприводе по сравнению с резисторными позволяют экономить до 40-50 % электроэнергии.

В последние десятилетия разработано немало новых энергоэкономичных схематехнических решений. Вместе с тем, можно констатировать, что множество решений в данном случае – это совсем не их качество [1]. Поэтому авторами на основании анализа критериев оптимизации была разработана энергоэкономичная схема комбинированного импульсного преобразователя (ИП).

## Решение поставленной научной задачи исследований.

Принципиальная схема ИП упрощенно представлена на рис. 1, диаграммы напряжений на двигателях представлены на рис. 2, где:

GB – аккумуляторная батарея;  
 KM – ходовой контактор;  
 KQ – тормозные контакторы;  
 M – тяговые двигатели;  
 R – тормозные резисторы;  
 VD – нулевые диоды;  
 VS – однооперационный SCRJ – тиристор;

VT – IGB- транзисторы;  
 AE – устройство предварительного возбуждения двигателей в тормозном режиме;

$t_D, t_S, t_T$  – длительности проводящего состояния соответственно диодов, тиристора и транзисторов;

T – период ШИМ напряжения.

Система управления (СУ) комбинированным ИП адаптирована с контроллером КТВ производства ОАО «Электромашина» и обеспечивает все предусмотренные им режимы.

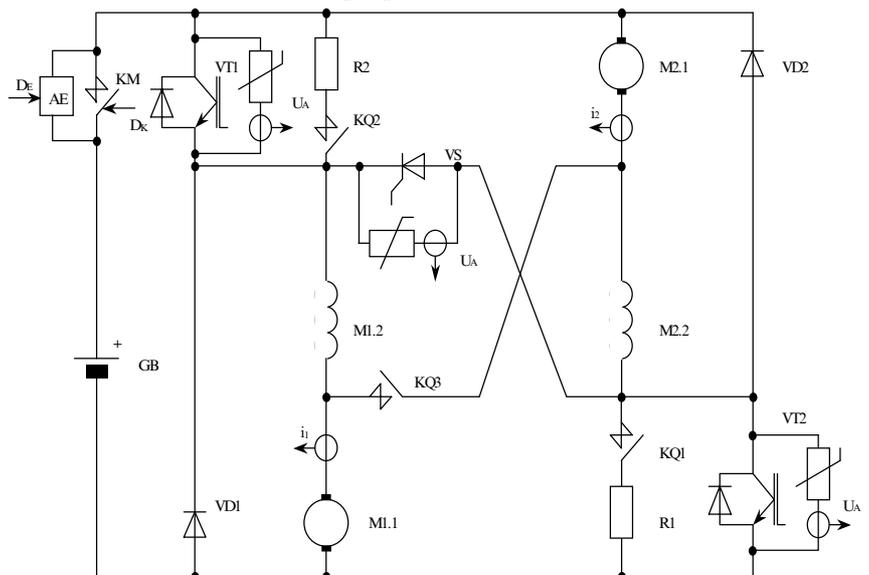
Алгоритм управления ИП представлен на рис. 3.

### Входные сигналы.

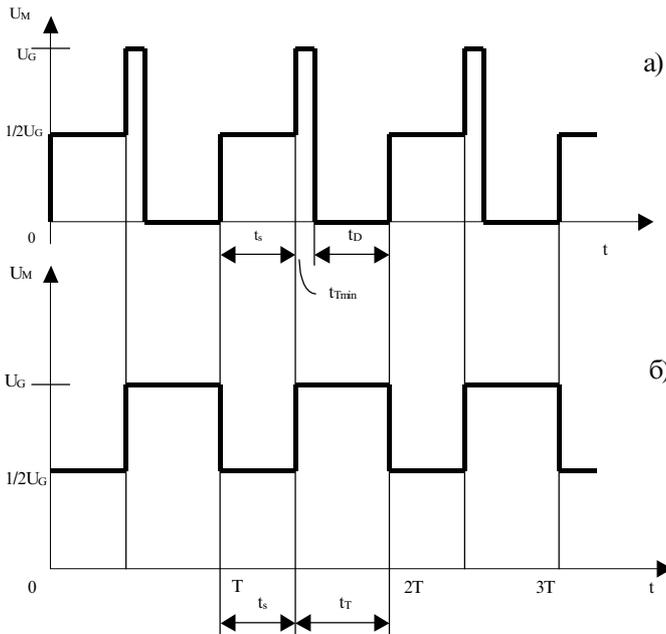
X = «Ход», двоичный: 0 – запрет движения;  
 1 – разрешение движения;

C = «Стоп», двоичный: 0 – запрет торможения;  
 1 – разрешение торможения;

имеет приоритет над сигналом  $x=1$ ;



**Рисунок 1.** Упрощенная принципиальная схема комбинированного импульсного преобразователя рудничного аккумуляторного электровоза.



**Рисунок 2.** Диаграммы напряжений на двигателях при двухзонном регулировании  
 а) в первой зоне от  $\sim 0$  до  $1/2 U_G$ ;  
 б) во второй зоне от  $\sim 1/2 U_G$  до  $U_G$ .

$U_d$  = «движение», аналоговый:  $0, U_{Tmin} \dots U_{Tmax}$ , пропорционален углу поворота рукоятки управления машиниста (РУ);

$U_T$  = «торможение», аналоговый:  $0, U_{Tmin} \dots U_{Tmax}$ , пропорционален углу поворота РУ;

$i_1, i_2$  = аналоговые разнополярные сигналы от датчиков тока тяговых двигателей: в тяговом режиме сигналы датчиков имеют положительную полярность и обозначены  $i_d$ , в тормозном режиме сигналы датчиков имеют отрицательную полярность и обозначены  $i_T$ ;

$U_A$  = «сверхнапряжение», двоичный:  $0$  – норма;  
 $1$  – авария;

#### Внутренние уставки СУ.

$\min I_T$  – минимальный ток двигателя в тормозном режиме;

$\max I_T$  – максимальный ток двигателя в тормозном режиме;

$\max I_d$  – максимальный ток двигателя в тяговом режиме;

$I_A$  – аварийный ток двигателя;

$I_F$  – ток срабатывания внутренней токовой защиты IGB-транзистора.

#### Выходные сигналы СУ.

$D_S$  – двоичный:  $0$  – отключение драйвера тиристора VS;

$1$  – включение драйвера тиристора VS, длительность включения  $t_s = 0 \dots T$ ;

$D_T$  – двоичный:  $0$  – отключение драйверов IGB-транзисторов VT1,2; при наличии в драйверах напряжения питания и сигнала  $D_T = 0$  они выдают на переход эмиттер-затвор напряжение, удерживающее IGB-транзистор в отключенном состоянии;

$1$  – включение драйверов IGB-транзисторов VT1,2, длительность включения  $t_T = t_{Tmin} \dots T$ ;  $t_{Tmin}$  определяется паспортным временем включения тиристора VS;

А также выходные сигналы световой информации о контроле состояния СУ, питания, режиме работы, срабатывании защит и проч.

#### Исходное состояние СУ.

$x = 0, c = 0, U_d = 0, U_T = 0, i_1 = 0, i_2 = 0, U_A = 0$ ;  
 $D_S = 0, D_T = 0, D_K = 0, D_E = 0$ .

#### Тяговый режим.

Включен КМ и отключены КQ 1,2,3.

Поступает сигнал  $x = 1$ , СУ выдает  $D_T = 1$  длительностью  $t_{Tmin} = \text{const}$ . Контролируется отсутствие аварийных ситуаций.

Поступает сигнал  $U_d > 0$ , измеряющийся от  $U_{dmin}$  – минимального сигнала задания, превышающего порог нечувствительности, и далее нарастающий по мере поворота РУ в положение  $U_{dmax}$ . СУ выдает сигналы  $D_S = 1$ , длительностью

$$t_s = 2T \cdot \frac{U_d}{U_{dmax} - t_{Tmin}}$$

и сигналы  $D_T = 1$  длительностью  $t_{Tmin} = \text{const}$ , см. рис. 2. Таким образом, при изложении сигнала задания  $U_d$  от минимума до  $U_{dmax}/2$  реализуется первая зона регулирования напряжения на двигателях. Далее, по мере увеличения сигнала задания  $U_d > U_{dmax}/2$ , СУ выдает сигналы  $D_T = 1$  длительностью

$$t_T = (2 \cdot \frac{U_d}{U_{dmax}} - 1)T + t_{Tmin}$$

и сигналы  $D_S = 1$ , длительностью  $t_s = T - t_T$ , см. рис. 2. Таким образом, при изменении задания  $U_d$  от  $U_{dmax}/2$  до  $U_{dmax}$  реализуется вторая зона регулирования напряжения на двигателях.

При резком набросе сигнала задания  $U_d$  СУ обрабатывает его плавно с заданным темпом нарастания. Сброс сигнала  $U_d$  СУ обрабатывает практически мгновенно.

В СУ заложено ограничение по току двигателя, - если  $i_d$  достигает уставки  $\max I_d$ , то в первой зоне регулирования снимается сигнал  $D_S = 1$  и устанавливаются  $D_S = 0$  и  $D_T = 1$ , длительностью  $t_{Tmin}$ ; во второй зоне снимается  $D_T = 1$  и устанавливаются  $D_T = 0$  и  $D_S = 1$  в течение остатка периода модуляции  $T$ .

#### Режим выбега.

Исходное состояние. При  $i_1 = i_2 = 0$  разрешается отключение КМ:  $D_K = 1$ .

#### Тормозной режим.

Отключен КМ и включены КQ1,2,3.

Поступает сигнал  $c = 1$ , запрещается прохождение сигнала  $x = 1$ . СУ выдает сигнал  $D_E = 1$  на включение устройства АЕ, подпитывающего обмотки возбуждения тяговых двигателей от аккумуляторной батареи до тех пор, пока  $i_T$  не достигнет уровня  $1,1 \min I_T$ , после чего  $D_E = 1$  снимается и устанавливается  $D_E = 0$ .

Далее, в зависимости от скорости движения электроваза, возможны следующие ситуации.

Первая ситуация: скорость движения такова, что генерируется ЭДС двигателей, достаточная для поддержания тока в тормозной цепи и система втягивается в режим самовозбуждения.

Вторая ситуация: скорость невелика и подхвата возбуждения двигателей не происходит, ток  $i_T$  в тормозной цепи падает и при достижении уставки  $\min I_T$  СУ выдает сигнал  $D_E = 1$  до тех пор, пока ток вновь не увеличится до  $1,1 \min I_T$  и т.д.

Увеличение тормозного усилия происходит при подаче сигнала задания  $U_T > 0$  по мере поворота РУ в направлении  $U_{Tmax}$ ; СУ выдает сигналы  $D_T = 1$  длительностью

$$t_T = \frac{T}{U_{Tmax}} \cdot U_T.$$

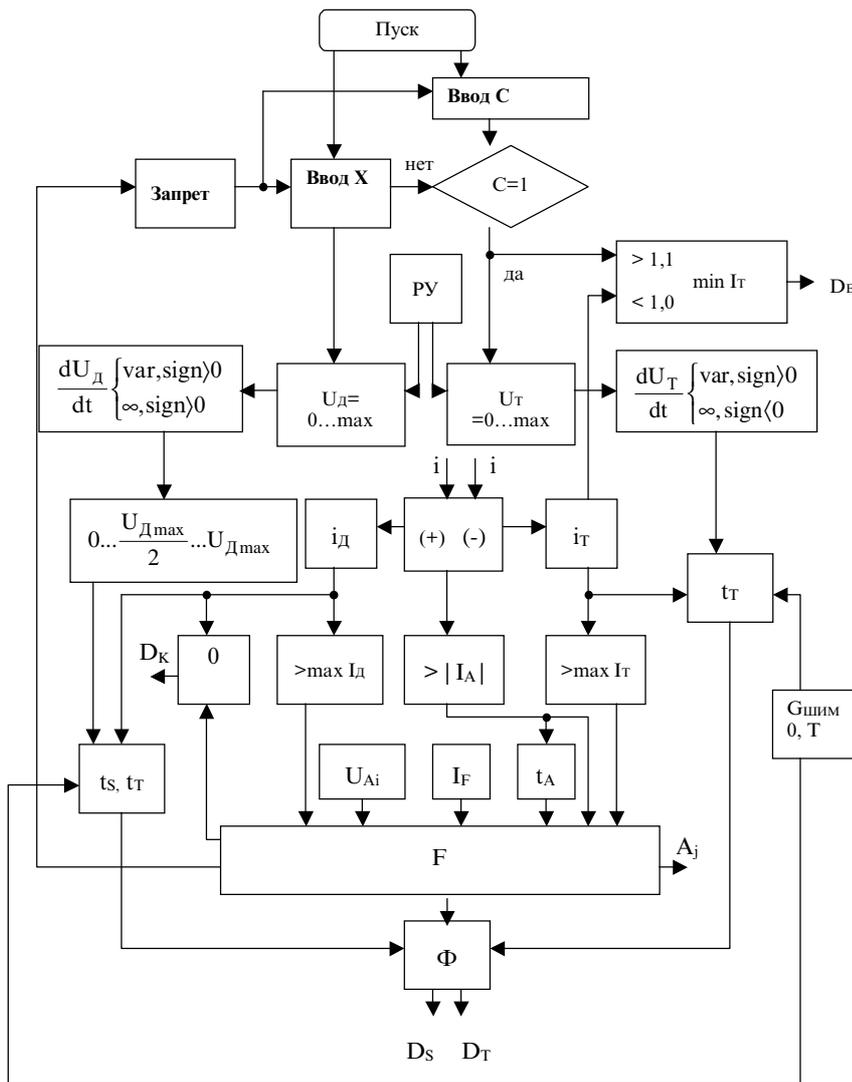


Рисунок 3. Алгоритм двухзонного управления ИП.

При резком набросе сигнала задания  $U_T$  СУ, как и в тяговом режиме, обрабатывает его плавно, а сброс – практически мгновенно.

Аналогично действует и ограничение роста тока: если  $i_T$  достигнет уставки  $\max I_T$ , то снимается сигнал  $D_T = 1$  и устанавливается  $D_T = 0$  в течение остатка периода модуляции.

Защита при сверхтоке.

При токе  $i_1$  или  $i_2$  более аварийной уставки  $I_A$  блокируются сигналы  $x=1, c=1$ . Если действует сигнал  $D_S = 1$ , то он снимается и устанавливаются  $D_S = 0$  и  $D_T = 1$ , на время  $t_{Tmin}$ , по истечение которого снимается  $D_T = 1$  и устанавливается  $D_T = 0$  длительно. Если, при возникно-

вании аварийной ситуации  $D_S = 0$ , то далее запрещается прохождение  $D_S = 1$ , устанавливается  $D_S = 0$  длительно, снимается  $D_T = 1$ , устанавливается  $D_T = 0$  длительно. Вовне выдается аварийный информационный сигнал  $A1=1$  для возможности перехода на механический тормоз, контролируются сигналы  $i_1$  и  $i_2$  и, если в течение  $t_A$  токи снизились менее аварийной уставки  $I_A$ , то СУ выдает вовне сигнал  $A1.0=1$ , но сама СУ остается в аварийном состоянии  $A1=1$  во избежание «звонной» работы ИП. Деблокировка СУ, т.е. вывод ее из аварийного состояния осуществляется снятием напряжения питания переводом РУ в нулевое положение. Если по истечении контрольного времени  $t_A$  токи  $i_1$  и  $i_2$  не снизились менее аварийной уставки  $I_A$ , то СУ выдает информационный сигнал  $A1.1=1$  и сигнал  $D_K = 1$  на отключение ходового контактора КМ.

Внутренняя токовая защита IGB-транзистора.

При срабатывании внутренней защиты IGB-транзистора от превышения предельно допустимого тока соответствующий драйвер отключает аварийный IGBT и выдает сигнал  $I_F$  в СУ. Блокируются  $x=1, c=1$ , снимается  $D_T = 1$  и устанавливается  $D_T = 0$ , выдается аварийный информационный сигнал  $A2$  и сигнал  $D_K = 1$ . СУ пребывает в аварийном состоянии.

Защита от сверхнапряжений.

При возникновении любого из сигналов  $U_{Ai}=1$  блокируются сигналы  $x=1, c=1$ , снимаются сигналы  $D_S = 1$  и  $D_T = 1$ , устанавливаются  $D_S = 0$  и  $D_T = 1$ , выдается аварийный информационный сигнал  $A3=1$  и сигнал  $D_K = 1$ . СУ пребывает в состоянии аварии.

**Выводы**

Представленный алгоритм двухзонного управления комбинированным ИП позволяет реализовать микропроцессорный блок управления применительно к существующим и новым типам электровозов.

**Литература**

1. Синчук О.Н., Чумак В.В., Ершов О.В. Импульсные системы управления и защиты на рудничном электровозном транспорте. Под ред. Синчука О.Н. – Киев.: АДЕФ – Украина. 277с.