

УДК 62-83(075.8)

Ракан Аль-Слихат (аспірант)**А.А. Чепак** (канд. техн. наук, доц.)**В.Ф. Борисенко** (канд. техн. наук, проф.)

Донецкий национальный технический университет

УПРЕЖДАЮЩАЯ ТОКОВАЯ ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НАКЛОННОЙ ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ

На основании изучения режимов работы наклонной подъемной установки предложена упреждающая токовая защита от аварийных механических перегрузок, возникающих при наезде сосуда на твердые препятствия или в результате выбора значительной слабину тягового каната. Разработана структурная схема защиты и оценена ее эффективность в аварийных режимах транспортного механизма.

Ключевые слова: подъемная установка, режимы, упреждающая защита, структурная схема, оценка эффективности

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.

Значительный процент аварий на наклонных подъемниках с забуриванием скипов или вагонеток в результате схода колес с направляющих имеет место при наезде на просыпавшуюся твердую породу или в результате выбора значительной слабину тягового каната. Указанные режимы однозначно вызывают большие броски тока в силовой цепи электропривода транспортного механизма. Однако, предусмотренные в электроприводах устройства защиты [1, 2, 3] выполняют свою защитную функцию лишь при превышении механическими нагрузками допустимых значений. Такое положение неприемлемо для подъемников, поскольку двигатели после отключения продолжают некоторое время вращаться, вызывая дальнейший рост тягового усилия. Следовательно, для уменьшения тягового усилия в конце замедления привода необходимо, чтобы защита срабатывала в начале развития аварийных перегрузок [4].

Таким образом, проблема состоит в отсутствии конкретных технических предложений по созданию упреждающей токовой защиты электромеханической системы наклонного подъемника, способной срабатывать на отключение и затормаживание электропривода в самом начале развития аварийной механической перегрузки.

Для создания упреждающей токовой защиты необходимо обосновать принцип ее построения, произвести выбор рациональных параметров и оценку эффективности.

Анализ исследований и публикаций. В работе [5] показано, что упреждающую токовую защиту можно строить, используя принцип селективности по отношению к производной электромагнитного момента или тока приводного двигателя. Если в пусковом режиме регулируемого электропривода с предварительным наложением на него фрикционных электромагнитных тормозов интенсивность возрастания электромагнитного момента может быть задана настройкой датчика интенсивности, то в режиме стопорения движущегося сосуда или выбора провиса каната неизбежны неуправляемые всплески тягового усилия, а следовательно – электромагнитного момента. При этом производная тока силовой цепи электропривода может на порядок и более превысить производную пускового тока. Поскольку максимум производной лежит в начале роста тока, то настройкой чувствительности реле на начало возрастания производной можно добиться срабатывания защиты задолго до развития аварийных режимов. В результате возрастание тягового усилия будет продолжаться с малого его значения и к концу остановки привода не достигнет предела механической прочности каната или предела устойчивости движения сосуда.

Поскольку темп изменения текущей величины определяется её производной по времени, то естественным является стремление измерять производную прямым дифференцированием переменной. Однако такая операция приводит к усилению помех, сопутствующих полезному сигналу, поэтому в быстродействующих системах управления она неприемлема. Ее заменяют другими операциями, исключая чистое дифференцирование. Рассмотрим известные варианты построения упреждающей токовой защиты и выполним анализ их эффективности применительно к скиповому подъемнику.

1. Выделение производной выходной величины дифференцированием через фильтр. Структурная схема реального дифференциатора, предложенного В.И. Морозом [6], приведена на рис. 1.

Связь между входной и выходной переменными выражается операторным уравнением

$$X_{\text{ВЫХ}} = X_{\text{ВХ}} \left(K - \frac{K}{\frac{p}{K} + 1} \right) = X_{\text{ВХ}} \frac{p}{Tp + 1}, \quad (1)$$

где T – постоянная времени фильтра, $T = 1/K$.

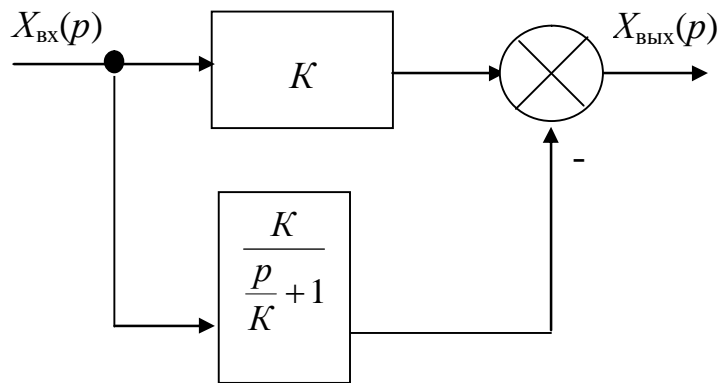


Рис. 1 – Структурная схема реального цифрового дифференциатора

Из выражения (1) следует, что по отношению к полезной составляющей входной переменной, обладающей сравнительно низким темпом изменения, выходная переменная формируется согласно равенству

$$X_{\text{ВЫХ}} \approx X_{\text{ВХ.ПОЛ}} p,$$

то есть полезная составляющая дифференцируется. Однако, по отношению к высокочастотным помехам (коллекторным пульсациям тока, пульсациям тока на выходе выпрямителя или преобразователя частоты) выходная переменная, согласно равенству

$$X_{\text{ВЫХ}} \approx K X_{\text{ВХ.ПОМ}},$$

не подавляется схемой. Проникая в систему управления через выпрямительное устройство, помехи способны вызывать ложное срабатывание, поэтому рассмотренный способ формирования управляющего сигнала неприемлем для системы упреждающей защиты подъемника.

2. *Формирование разности между эталонной и реальной функциями тока двигателей [5].* Сущность защиты, с применением микроконтроллера, заключается в том, что последний программируется на формирование “эталонной” кусочно-линейной огибающей $U_{\text{к}}(t)$, представляющей собой среднестатистическую временную функцию напряжения, пропорционального току силовой цепи двигателя в безаварийном режиме работы (рис. 2,а). Кроме того, дополнительно формируется датчиком тока фактическая временная зависимость напряжения $U_{\text{г}}$, пропорционального реальному току. Оба сигнала поступают на входы микроконтроллера, причем огибающая лежит несколько выше полезного сигнала $U_{\text{г}}(t)$. В нормальном (безаварийном) режиме работы подъемника обе кривые не пересекаются, поэтому микроконтроллер не вырабатывает выходного сигнала. При выборе

провиса каната или наезде сосуда на препятствие ток в силовой цепи резко возрастает и в месте пересечения кривых (точка C на рис. 2,б) на выходе контроллера появляется сигнал, вызывающий экстренное электрическое торможение двигателей с наложением тормозных колодок. В результате снижается максимальное тяговое усилие, а следовательно, вероятность порыва каната или схода сосуда с направляющих.

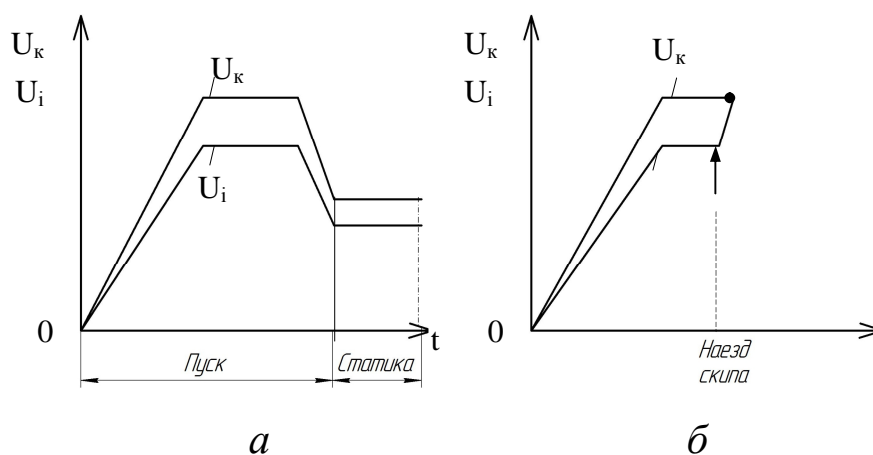


Рис. 2 – Иллюстрация работы микропроцессорной системы аварийной защиты: а – безаварийный режим; б – наезд скипа на препятствие

Для создания необходимых эталонов функции $U_k(t)$ приходится руководствоваться не единичными осциллограммами тока, изменяемыми от цикла к циклу, а пользоваться среднестатистическими зависимостями $U_i(t)$ отдельно для кокса и руды. Эталонные функции следует корректировать в зависимости от степени загруженности скипа, поэтому в процессор должна также поступать информация о массе груженого скипа. В результате формируются эталонные функции тока с наперед заданными конфигурациями и временными интервалами, близкие по форме к нижележащим кривым фактического тока двигателей в безаварийном режиме их работы.

Данная система аварийной защиты базируется на современных средствах измерения и управления, но не является оптимальным вариантом решения поставленной задачи, поскольку микропроцессорное управление осуществляется по фиксированным задающим функциям, что не позволяет учесть реальные изменения токовременных диаграмм электропривода, носящие случайный характер. Отсюда велика вероятность ложных срабатываний или отказов системы аварийной защиты, состоящей к тому же из большого числа функциональных элементов.

3. Формирование разности между плавающими уставками и сигналом тока. Действие упреждающей токовой защиты с помощью такого устройства [5] поясняется рис. 3, где U_i – выпрямленный сигнал датчика тока в силовой цепи двигателей; $U_{y.в.}$, $U_{y.н.}$ – верхняя и нижняя плавающие уставки.

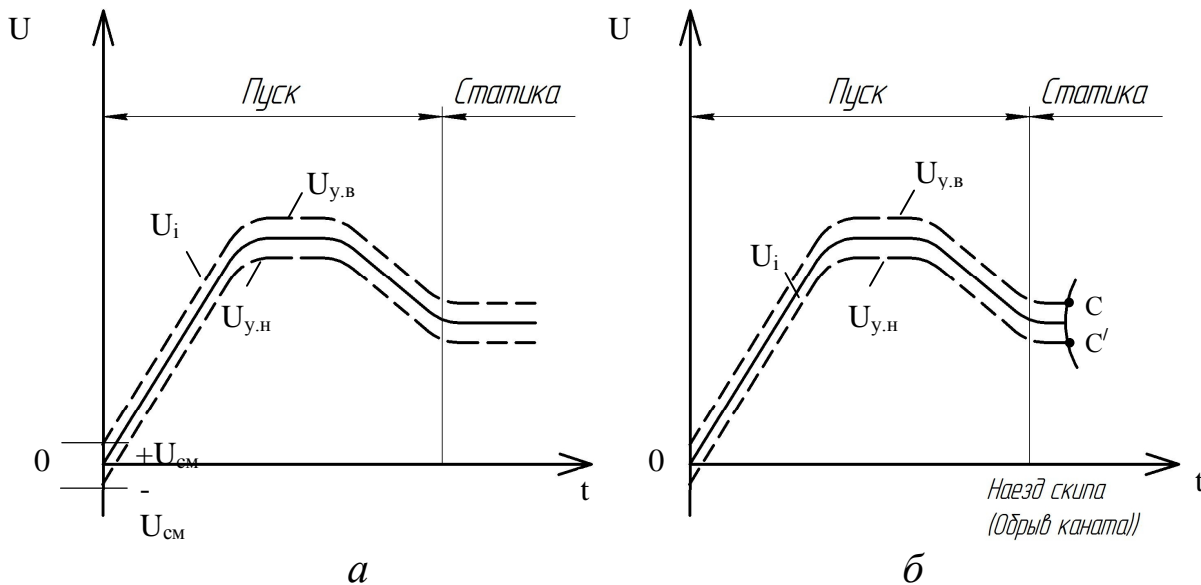


Рис. 3 – Иллюстрация поведения электронного токового реле с плавающими установками: а – безаварийный режим работы; б – формирование сигналов срабатывания аварийной защиты при наезде сосуда на препятствие или обрыве каната

Последние формируются в результате прохождения сигнала U_i через апериодическое звено и смещения выходного напряжения вверх и вниз от входного сигнала на величину $U_{см}$. Уставки являются границами, с которыми не должна пересекаться кривая $U_i(t)$ в безаварийном режиме работы электропривода (см. рис. 3,а). Апериодическое звено является фильтром низших частот, поэтому при сравнительно медленных изменениях тока, характерных для пускотормозных и статических безаварийных режимов работы электропривода, кривые уставок практически повторяют форму кривой $U_i(t)$, вследствие чего сохраняются дистанции между кривой тока и уставками, равные $\pm U_{см}$. В случаях же наезда сосуда на препятствие, выбора провиса или обрыва каната, связанного с грузенным сосудом, происходит резкое изменение тягового усилия, тока двигателей и сигнала U_i (см. рис. 3,б). Поскольку формы кривых уставок, вследствие сглаживающего действия фильтра, не претерпевают заметных изменений, линии уставок надежно пересекаются кривой U_i в точке С

(при наезде или выборе провиса) или C^1 (при обрыве каната). Пересечение фиксируется нуль-органом, дающим команду на отключение и торможение привода.

Рассмотренное токовое реле обладает селективностью по отношению к темпу изменения тока двигателей, оно инвариантно к формам реальных диаграмм тока, носящим случайный характер. Однако, для обеспечения эффективной упреждающей защиты подъемника необходимо расположение уставок в непосредственной близости к линии тока двигателей, что делает неустойчивой работу компаратора (нуль-органа) в условиях неизбежных помех, сопутствующих нормальной работе механизма. Схемное решение предложенной защиты сложно, а его реализация требует применения значительного числа интегральных микросхем, требующих точной настройки. Все это не позволяет принять данный вариант защиты в качестве окончательного, но сама идея сосуществования функции реального тока и интегрированной (сглаженной) функции тока представляет интерес.

Постановка задачи. Как следует из рассмотрения последнего способа выполнения упреждающей токовой защиты, идея взаимодействия функции реального тока силовой цепи электропривода и интегрированной (сглаженной) его функции может служить основой создания нового типа устройства защиты. Отсюда задачей данного исследования является разработка рациональной структуры упреждающей защиты, позволяющей обходиться без нуль-органа и имеющей простое схемное решение.

Изложение материала и результаты. В электронном реле с плавающими уставками демпфированный сигнал тока является плавающей уставкой, по достижении которой сигнал тока вызывает срабатывание нуль-органа. Как отмечено выше, в связи с близостью этих двух величин возможны сбои в работе нуль-органа, что снижает надежность защиты в целом.

Для повышения надежности предлагается вместо сближения двух сигналов тока при набросах нагрузки их отдаление друг от друга, а разность сигналов использовать для срабатывания защиты. Действие нового токового реле основано на том, что в нормальном режиме работы электромеханической системы подъемника пропорциональный и демпфированный сигналы тока практически совпадают и разностный сигнал близок к нулю. При скачках нагрузки, в результате выбора достаточно большой длины провиса каната или наезда соуда на неподвижное препятствие, сигнал тока резко возрастает, а

демпфированный сигнал практически не изменяется. Обе функции расходятся, формируя значительный по величине разностный сигнал. По достижении некоторой уставки, которой может служить порог нечувствительности электронного усилителя, защита срабатывает. Отсутствие нуля-органа, невысокий требуемый коэффициент усиления усилителя, делают такое устройство простым и достаточно надежным.

Структурная схема нового устройства приведена на рис. 4,

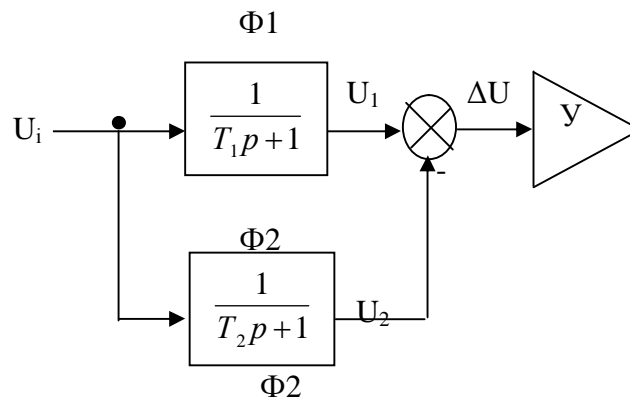


Рис. 4 – Структурная схема электронного токового реле упреждающей защиты

где U_i – выпрямленный сигнал датчика тока; Ф1 – фильтр с малой постоянной времени (T_1); Ф2 – фильтр с большой постоянной времени (T_2); U_1 , U_2 – выходные напряжения фильтров; ΔU – разностный сигнал; У – усилитель разностного сигнала.

Фильтр с малой постоянной времени является обычным сглаживающим фильтром для подавления пульсаций входного сигнала U_i , а фильтр с большой постоянной времени сглаживает входной сигнал настолько, чтобы при аварийных бросках тока выходное напряжение U_2 практически оставалось неизменным.

Оба фильтра представляют собой аperiodические звенья первого порядка, поэтому, если принять, что сигнал U_i возрастает с невысоким темпом по линейному закону: $U_i = at$, то выходные напряжения фильтров будут изменяться согласно равенствам

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= at - aT_1(1 - e^{-t/T_1}); \\ U_2 &= at - aT_2(1 - e^{-t/T_2}), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

а разностный сигнал – в соответствии с выражением

$$\Delta U = U_1 - U_2 = a(T_2 - T_1) - a(T_2 e^{-t/T_2} - T_1 e^{-t/T_1}). \quad (3)$$

Установившееся значение выходного сигнала наступает практически при $t = 4T_2$ и по (3) составляет

$$\Delta U_{уст} = a(T_2 - T_1). \quad (4)$$

Из равенства (4) следует, что установившееся значение разностного напряжения фильтров пропорционально темпу изменения сигнала U_i тока двигателей, что и требуется для функционирования упреждающей защиты.

Выражениям (2), (3) соответствуют графические зависимости, приведенные на рис. 5.

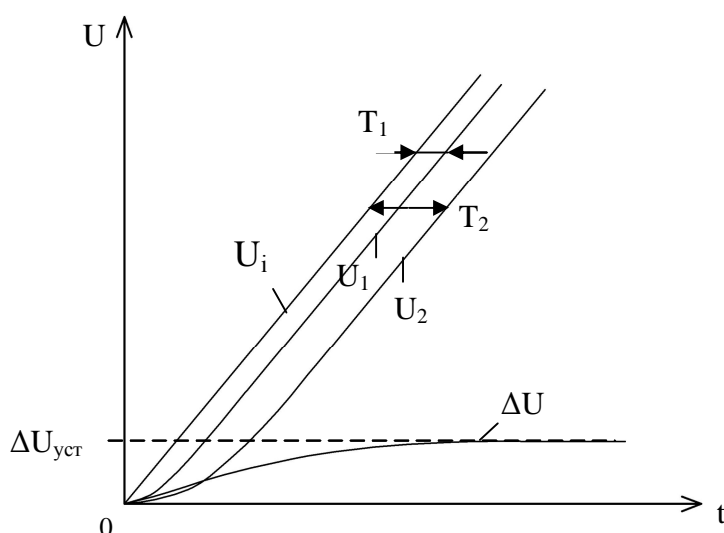


Рис. 5 – Формирование сигналов в реле упреждающей токовой защиты

Для оценки помехозащищенности защиты запишем операторное уравнение реле (см. рис. 4):

$$\Delta U = U_i \left(\frac{1}{T_1 p - 1} - \frac{1}{T_2 p - 1} \right) = U_i \frac{(T_2 - T_1)p}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}. \quad (5)$$

Согласно (5), высокочастотные составляющие тока вызывают изменение разностного сигнала по выражению

$$\Delta U \approx U_i \frac{(T_2 - T_1)}{T_1 T_2 p},$$

то есть выходное напряжение реле, являясь интегральной функцией высокочастотных гармоник сигнала тока, подавляется схемой, а следовательно, не оказывает заметного влияния на систему управления электроприводом.

С другой стороны, относительно низкие частоты, характерные для огибающей сигнала тока (полезного сигнала) в нормальных и аварийных режимах электропривода, вызывают изменение выходного сигнала по выражению

$$\Delta U \approx U_i \cdot (T_2 - T_1) p,$$

то есть разностный сигнал реле защиты, пропорционален производной сигнала тока.

Выводы и направление дальнейших исследований. Разработанная структура предложенного реле обеспечивает надежное реагирование защиты на темп изменения огибающей тока двигателя и подавление высокочастотных его составляющих, вызываемых коллекторными и коммутационными пульсациями тока силовых цепей управляемых электроприводов. Заложенный здесь принцип позволяет значительно упростить построение и обеспечить надежность защиты по сравнению с известным устройством с плавающими уставками и нуль-органом.

Полученные результаты будут использованы при разработке принципиальной схемы электронного реле упреждающей защиты и проверке эффективности его срабатывания на математической и физической моделях наклонной подъемной установки.

Список литературы

1. Способ защиты горной машины от динамических перегрузов и устройство для его осуществления: а. с. 1242612 СССР, МКИ E21C35/24 / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич (СССР). – N3822422 / 03, заявл. 06.12.84, опубл. 07.07.86; Бюл. №25.
2. Устройство для выявления аварийных режимов эксплуатации приводов: а. с. 1680977 СССР, МКИ E21C35/24 / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич и др. (СССР). – N4738242 / 03, заявл. 10.07.89, опубл. 30.09.91; Бюл. №36.
3. Устройство для защиты асинхронного электропривода от аварийных токов: а. с. 1453513 СССР, МКИ H02H7/08 / И.Т. Сидоренко, К.Н. Маренич и др. (СССР). – N4306976 / 07, заявл. 21.01.87, опубл. 23.01.89; Бюл. №3.
4. Ракан Аль-Слихат. К созданию упреждающей токовой защиты от схода скипов с направляющих доменного скипового подъемника при оборудовании частотно-управляемым асинхронным электроприводом / Ракан Аль-Слихат, А.А Чепак, В.Ф. Борисенко // Наукові праці ДонНТУ. Серія “Електротехніка і енергетика”. – 2009. – Вип. 9(158). – С. 202-206.
5. Электромеханические системы транспортирующих механизмов / В.Ф. Борисенко, А.А. Чепак, В.А. Сидоров и др.; под общ. ред. В.Ф. Борисенко. – Донецк: “Вебер” (Донецкое отделение), 2007 – 332 с.
6. Мороз В.І. Метод розрахунку режимів і формування впливів в електромеханічних системах на основі інтегралу згортки: автореф. докт. техн. наук. / В.І. Мороз. – Львів: НУ “Львівська політехніка”, 2010. – 35 с.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2012

Ракан Аль-Сліхат, А.О. Чепак, В.П. Борисенко. Донецький національний технічний університет

Випереджувальний струмовий захист електромеханічної системи похилої підйомної установки

На основі вивчення режимів роботи похилої підйомної установки запропоновано випереджувальний струмовий захист від аварійних механічних перевантажень, що виникають при наїзді посудини на тверді перешкоди або при виборі суттєвого провису тягового каната. Розроблена структурна схема захисту і оцінена його ефективність в аварійних режимах транспортного механізму.

Ключові слова: підйомна установка, режими, випереджувальний захист, структурна схема, оцінка ефективності.

Rakan Yousef Al-Slihat, A. Chepak, V. Borisenko. Donetsk National Technical University

Advanced Current Protection of Electromechanical Systems of an Inclined Hoist.

Having studied the inclined hoist operating modes we propose the use of advanced current protection in case of mechanical overload emergencies, which occur when the skip runs against a hard obstacle. We developed a structure chart of protection and estimated its performance in transport mechanisms emergency modes.

Keywords: hoist, mode, advanced current protection, structure chart, performance estimation.