

А.Г. Лысенко, Т.И. Хованская

(Украина, Днепрпетровск, Национальный горный университет)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУСКОВОГО РЕЖИМА ТЯГОВОЙ СЕТИ КОМПЛЕКСА ТРАНСПОРТА С ИНДУКТИВНОЙ ПЕРЕДАЧЕЙ ЭНЕРГИИ

Одним из перспективных видов рудничного транспорта, используемого на угольных шахтах, является высокочастотный комплекс с индуктивной передачей энергии. Этот вид транспорта характеризуется отсутствием непосредственного электрического контакта (гальванической связи) между источником питания и приемником электрической энергии (электровозом), что обеспечивает безыскровую передачу энергии и соответственно безопасную эксплуатацию комплекса в условиях шахт опасных по газу и пыли. Также достоинствами рассматриваемого вида транспорта являются надежность, безопасность обслуживания и высокие энергетические показатели, поэтому развитие и повышение эффективности работы бесконтактного транспорта является актуальной научной задачей.

Основные элементы электрооборудования бесконтактного транспорта: тяговый преобразователь частоты (ТПЧ), тяговая сеть и бесконтактные электровозы.

При постановке задачи, решаемой в данной работе, учитывалось, что методы анализа и синтеза пусковых переходных процессов в системе ТПЧ – тяговая сеть – электровоз на сегодняшний день недостаточно развиты и обоснованы. Поэтому объектом исследования данной работы являются пусковые электрические режимы системы ТПЧ – ТС, которые исследуются с позиций энергосбережения и безопасной эксплуатации комплекса.

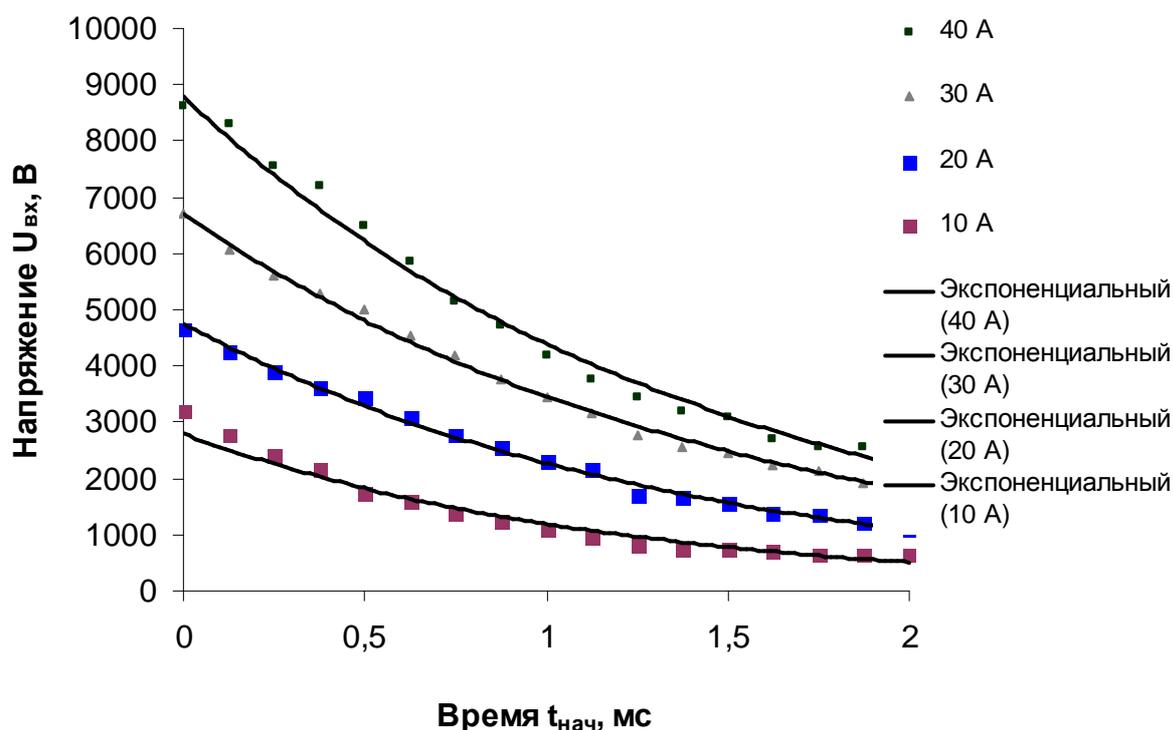
На сегодняшнем этапе развития транспорта с индуктивной передачей энергии имеет место следующая проблема: при пуске ТПЧ на тяговую сеть, зачастую, возникают перенапряжения, приводящие к нарушению безопасного режима работы электрооборудования (выходу из строя конденсаторов продольной компенсации). Кроме того, неизвестно влияние выходных параметров ТПЧ на потери мощности в тяговой линии при пуске. Специфика работы транспорта требует постоянного поддержания тока в тяговой сети на уровне 150 А, поэтому наибольшие потери мощности наблюдаются именно в тяговой сети. Такие условия приводят к тому, что независимо от того, нагружена ли тяговая сеть электровозом или нет, потери мощности достаточно весомые. Однако, несмотря на это, энергетическим показателям, в частности потерям мощности, до последнего времени уделялось мало внимания. Тем не менее, оценка этих параметров дает возможность определить пути снижения потерь мощности в тяговой сети за счет регулирования, в частности, пусковых процессов в преобразователе частоты. Поэтому особый интерес представляют потери мощности при пуске тягового преобразователя частоты на тяговую сеть.

Для предотвращения значительных перенапряжений при пуске, а также с целью снижения потерь мощности в тяговой линии необходимо установить их зависимость от входных параметров преобразователя частоты и определить оптимальные с точки зрения режима тяговой сети значения этих параметров.

Для анализа пусковых процессов использовалась модель для переходных режимов [1], с помощью которой были смоделированы варианты пускового режима при изменении значений начального увеличения выходного тока ТПЧ в диапазоне 10..40 А и значений интервала времени, в течение которого происходит это увеличение, в пределах 0,2...2 мс.

По результатам моделирования получены наборы значений входного напряжения для разных вариантов сочетания выходных параметров ТПЧ и построены регрессионные модели. Наиболее целесообразным является использование экспоненциальной аппроксимации, так как аппроксимация полиномами второй и третьей степени при значениях аргумента $t_{нач}$, выходящих за пределы рассматриваемого диапазона 0,2...2 мс, искажает реальную картину изменения входного напряжения в силу особенностей протекающих в тяговой сети электромагнитных процессов.

Описание зависимостей входного напряжения тяговой сети от пусковых параметров ТПЧ при помощи экспоненциальной аппроксимации изображено на рисунке.



Зависимость напряжения $U_{вх}$ от времени $t_{нач}$
для $I_{нач} = 40, 30, 20$ и 10 А

Анализ полученных зависимостей показывает, что каким бы не было начальное значение тока, значение напряжения тем выше, чем быстрее достигается величина тока $I_{нач}$.

Поэтому очевидно, что при пуске преобразователя частоты на тяговую сеть необходимо ограничивать начальную скорость возрастания выходного тока ТПЧ.

Вывод об ограничении начальной скорости возрастания выходного тока ТПЧ обуславливает необходимость решения задачи оптимизации скорости изменения выходного тока ТПЧ в начальном периоде пуска на тяговую сеть.

В начальный период пуска амплитуда выходного тока ТПЧ изменяется по линейному закону [2]

$$I_0 = \frac{I_{нач}}{t_{нач}} t.$$

Скорость изменения выходного тока отсюда будет равна первой производной по времени:

$$\frac{dI_0}{dt} = \frac{I_{нач}}{t_{нач}}.$$

Оптимум определяется из условия минимизации скорости возрастания выходного тока, т.е.

$$\frac{I_{нач}}{t_{нач}} \rightarrow \min.$$

Оптимизационная задача имеет ряд ограничений, обусловленных допустимыми по условиям надежности и безопасности значениями входного напряжения тяговой сети и диапазонами изменения значений временного интервала начального периода пуска, а также значений тока $I_{нач}$.

Таким образом, с учетом второго граничного условия, в соответствии с которым напряжение в начале тяговой сети изменяется по синусоидальному закону [3], первое ограничение имеет вид:

$$z_{вх} I_{нач} \sin \omega t_{нач} \leq u_{доп}.$$

Входное сопротивление в начальный период пуска постоянно и равно волновому (для рассматриваемой тяговой сети 300 Ом). Допустимое напряжение определяется уставкой срабатывания защиты ТПЧ и равно 2120 В. Тогда первое ограничение запишется как

$$300 I_{нач} \sin 314 t_{нач} \leq 2120.$$

Остальные ограничения имеют вид:

$$\begin{aligned}
t_{нач} &\leq 2 \text{ мс}; \\
t_{нач} &\geq 0,2 \text{ мс}; \\
I_{нач} &\leq 40 \text{ А}; \\
I_{нач} &\geq 10 \text{ А}.
\end{aligned}$$

Так как критерий $\frac{I_{нач}}{t_{нач}} \rightarrow \min$ соблюдается при $I_{нач} \rightarrow \min$ и $t_{нач} \rightarrow \max$, то приходим к задаче многокритериальной оптимизации, которая в окончательном виде будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned}
f_1 &= I_{нач} \rightarrow \min ; \\
f_2 &= t_{нач} \rightarrow \max ;
\end{aligned}$$

$$\begin{cases}
300I_{нач} \sin 314t_{нач} \leq 2120; \\
t_{нач} \leq 2 \text{ мс}; \\
t_{нач} \geq 0,2 \text{ мс}; \\
I_{нач} \leq 40 \text{ А}; \\
I_{нач} \geq 10 \text{ А}.
\end{cases}$$

Решение поставленной задачи было получено тремя методами: главного критерия, свертки и последовательной уступки.

Критерий f_1 имеет более высокий приоритет по сравнению с критерием f_2 . Учитывая этот факт, можно сделать следующие выводы:

- результаты решения оптимизационной задачи, полученные по методу главного критерия, обеспечивают минимальное значение тока на допустимом интервале (что и требовалось), однако при этом $t_{нач}$ принимает наименьшее из допустимых значений, что не является наилучшим сочетанием этих параметров;
- метод последовательной уступки, наоборот, обеспечивает максимальное значение времени на допустимом интервале, но не дает минимального из допустимых значений тока $I_{нач}$;
- наилучшие результаты будут при методе свертки: $t_{нач} = 1,401 \text{ мс}$ и $I_{нач} = 10,228 \text{ А}$, так как полученное при этом значение начального тока достаточно близкое к минимальному значению из допустимого диапазона, а значение начального времени приближается к максимально допустимому.

Исследование пускового процесса с точки зрения потерь мощности дает аналогичные результаты. При разных сочетаниях выходных параметров ТПЧ потери мощности в тяговой сети тем ниже, чем меньше значение начального увеличения тока $I_{нач}$ при наибольшем значении времени его нарастания $t_{нач}$. Скачкообразное увеличение потерь мощности происходит при резком возраст-

тании выходного тока преобразователя частоты от нуля до $I_{нач}$ за промежуток времени 0,2 мс [1]. Увеличение интервала времени $t_{нач}$ при неизменном значении $I_{нач}$ приводит к снижению потерь мощности в тяговой сети.

Соблюдение при реализации алгоритма пуска ТПЧ на тяговую сеть полученных в данной работе оптимальных параметров преобразователя позволит за счет исключения перенапряжений обеспечить безопасные режимы работы элементов комплекса, уменьшить количество выходов из строя конденсаторов, увеличить срок службы оборудования. Реализация пускового процесса при обоснованных параметрах ТПЧ позволяет снизить потери мощности в тяговой сети и повысить энергоэффективность работы комплекса.

Список литературы

1. Хованська О.І., Лисенко О.Г. Вплив вихідних параметрів тягового перетворювача частоти на витрати потужності в мережі // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2005. – Вип.74. – С.9-13.
2. Зражевский Ю.М., Хованская Е.И., Хованская Т.И. Моделирование режимов работы системы “Тяговый преобразователь частоты – тяговая сеть” // Науковий вісник НГУ.– 2006. – №2. – С.93-95.
3. Хованская Е.И., Ковалев А.Р. Анализ пускового режима тяговой сети в комплексе транспорта с индуктивной передачей энергии // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вип.64. – С.30-34.
УДК: 621.365.52