

УДК 621.374

ИНДУКЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕ С МАГНИТНЫМИ НАКОПИТЕЛЯМИ ЭНЕРГИИ

Чашко М.В., Соболев А.П.

Исследовано бесконтактное электропитание транспортных средств, при котором энергия передается от линии в энергоприемник импульсами магнитного потока.

Для передачи энергии в энергоприемник в тяговой линии создаются импульсы тока, около линии возникает магнитное поле, в котором содержится энергия. Чтобы эта энергия перешла в энергоприемник, магнитное поле линии нужно удалить, при этом возникает вопрос, куда деть его энергию. Возможны варианты: преобразовать в тепло в сопротивлении тяговой линии, вернуть в источник (сеть переменного тока), запасти в емкости или индуктивности до следующего импульса. Первый вариант наиболее простой, но наименее экономичный: практически вся переданная в линию энергия теряется. Второй вариант более экономичен, но связан с ухудшением качества энергии сети и сложной схемой инвертирования.

Представляется целесообразным третий вариант: запастись энергией магнитного поля линии в магнитном поле дросселя на время паузы между импульсами. Принципиальная схема, реализующая его, изображена на рисунке 1. Для этого варианта определены потери энергии в линии и энергоприемнике и КПД.

В линии при замкнутом ключе напряжение питания (например, от источника постоянного тока) создает ток в дросселе, запасая энергию в его магнитном поле. При размыкании ключа ток дросселя замыкается через линию, создавая импульс магнитного потока, энергия дросселя переходит в энергию линии. При следующем замыкании ключа напряжение питания прикладывается к дросселю и линии, ток линии, снижаясь, замыкается через дроссель, так что энергия магнитного поля линии возвращается в дроссель. Временная диаграмма процесса показана на рисунке 2.

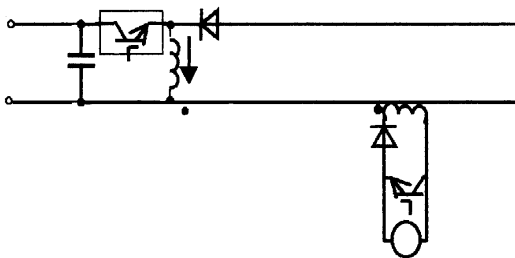


Рисунок 1 – Электрическая схема создания импульсов тока в тяговой линии

В энергоприемнике в интервале между импульсами ток проходит по цепи обмотка–транзистор–диод. В магнитном поле этого тока запасена энергия, которая может быть передана приводу запирированием транзистора. Во время нарастания магнитного потока линии (фронт импульса) ЭДС, индуцированная в обмотке энергоприемника, имеет полярность, противоположную проводящему направлению диода, ток в энергоприемнике не изменяется. Во время снижения магнитного потока линии (спад импульса) эта ЭДС совпадает с проводящим направлением диода, ток в энергоприемнике увеличивается, энергия его возрастает, компенсируя расход энергии в приводе.

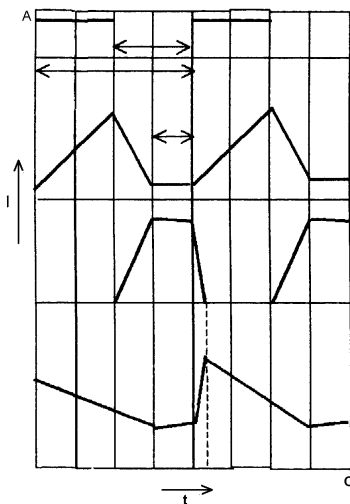


Рисунок 2

При анализе энергетической эффективности электропитания учитывались потери энергии в омических сопротивлениях линии и энергоприемника и специфические для импульсного электропитания потери на коммутацию. Установлено, что необходима «мягкая» коммутация дросселя, иначе КПД не может превысить 0,5: при включении индуктивности линии в цепь дросселя неизбежно теряется энергия, так как их потокосцепление мгновенно возрасти не может. При отсутствии потерь на коммутацию КПД электропитания

$$\eta = \frac{1}{(1 + 20 \frac{T_u}{T_p}) [1 + k_c^2 [(1 + \frac{L_d}{L_l}) (1 - e^{-\frac{2t_{\Pi}}{T_p}}) + 4e^{-\frac{2t_{\Pi}}{T_p}} (r^2 \ln \frac{1+r}{r} - r + \frac{1}{2})]]} \quad (1)$$

Здесь обозначено: $k_c^2 = \frac{L_l L_p}{M^2}$; $r = -\frac{U}{R_l I_{03}}$; T_u – период следования

импульсов; T_p , T_p – электромагнитные постоянные времени энергоприемника и дросселя с линией; L_l , L_d , L_p – индуктивности, соответственно, линии, дросселя и энергоприемника; M – взаимоиנדукция линии и энергоприемника; t_{Π} – длительность паузы; U , I_{03} – напряжение и ток в линии при замкнутом ключе.

Эта формула дает возможность установить зависимость КПД от специфических для исследуемой системы электропитания параметров: 1) электрических и временных – напряжения, длительности и периода импульсов; 2) геометрических – длины участка тяговой линии, на котором осуществляются импульсы, и расстояния между энергоприемником и линией. За-

висимость КПД от напряжения в импульсе определяется из формулы (1) в относительных единицах $U^* = U/I_0 R_L$ при значениях: $T_u/T_n = 10^{-3}$, $L_d/L_n = 5$, $t_n/T_n = 0$, $k_c^2 = 1$ (рисунок 3). Из графика видно, что КПД возрастает при повышении напряжения питания до величины приблизительно в 10 раз большей падения напряжения на омическом сопротивлении линии. Это происходит за счет сокращения длительности протекания тока: с увеличением напряжения длительность заднего фронта импульса напряжения сокращается. Дальнейшее увеличение напряжения не увеличивает КПД, так как преобладающими становятся потери в течение возрастания тока.

Зависимость кпд от периода импульсов определяется как функция от-

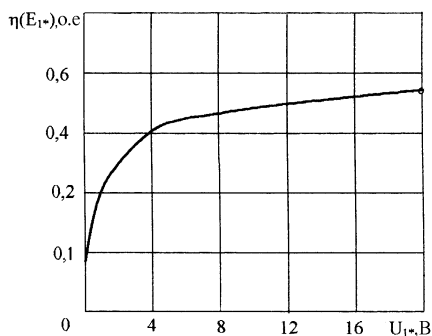


Рисунок 3

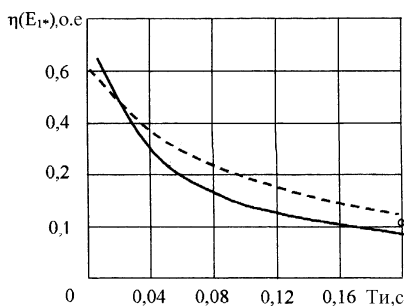


Рисунок 4

ношения периода к постоянной времени линии при $L_d/L_n = 5$, $T_n/T_n = 0,01$, $K_c^2 = 1$, $R = 10$ (рисунок 4). КПД снижается приблизительно по гиперболе при удлинении периода импульсов. Когда постоянная времени стремится к бесконечности, КПД стремится к единице. Можно показать, что постоянная времени зависит от сечения проводника и не зависит от его длины $T_n \approx 20S$ (S – площадь сечения проводника линии или обмотки энергоприемника). Это дает возможность получать желаемый КПД, варьируя параметры обмотки и период повторения импульсов.

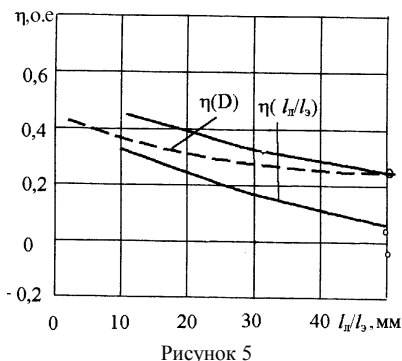
Зависимость КПД от длительности паузы определяется как функция отношения паузы t_n к постоянной времени линии при разомкнутом ключе $L_d/L_n = 5$, $t_n/T_n = 0,001$, $k_c^2 = 1$, $r = 10$ (рисунок 4). Из графика видно, что КПД тем выше, чем короче пауза: сокращается отрезок времени, в течение которого происходят потери энергии в линии, а на переданную в энергоприемник энергию t_n не влияет.

Зависимость КПД от геометрических размеров определяется коэффициентом k_c . Для энергоприемника с магнитопроводом

$$k_c^2 = \frac{\pi l_{\text{Л}} b_3}{l_{\text{Э}} \Delta} \cdot \frac{\ln \frac{B}{R_{\text{нр}}} + \frac{1}{4}}{\left(\ln \frac{B}{D}\right)^2},$$

где $l_{\text{Л}}, l_{\text{Э}}$ – длины линии и энергоприемника; b_3, Δ – значение и ширина зазора магнитопровода; B – расстояние между ветвями линии; D – расстояние от линии до энергоприемника.

Зависимости КПД от геометрических размеров изображены на рисунке 5. Здесь 1 – энергоприемник касается линии; 2 – энергоприемник на расстоянии от линии 10 мм. $T_{\text{н}^*}=0,01$, $U^*=50$, $B=250$ мм. Из графика видно, что КПД уменьшается приблизительно в полтора раза при увеличении относительной длины линии в 5 раз. При длине энергоприемника 5...10 м коммутируемый участок тяговой линии должен иметь длину 100...200 м.



Зависимость КПД от зазора между тяговой линией и энергоприемником ($\eta(D)$, рисунок 5) получена при $T_{\text{н}^*}=0,01$, $U^*=50$, $B=250$ мм. Видно, что КПД более 0,5 имеет место при зазоре до 10 мм.

Выводы. Возможна достаточно эффективная (с КПД до 0,8) передача энергии от тяговой линии энергоприемнику магнитным потоком, без электрического контакта. Для этого необходимо: передавать энергию импульсами магнитного потока во времени и ограничить их в пространстве; обеспечить согласование временных и пространственных параметров импульса, тяговой линии и энергоприемника; обеспечить согласование количества энергии, расходуемой в приводе, с количеством энергии, запасенной в энергоприемнике.

Поступила в редакцию 20.09.1999 г.