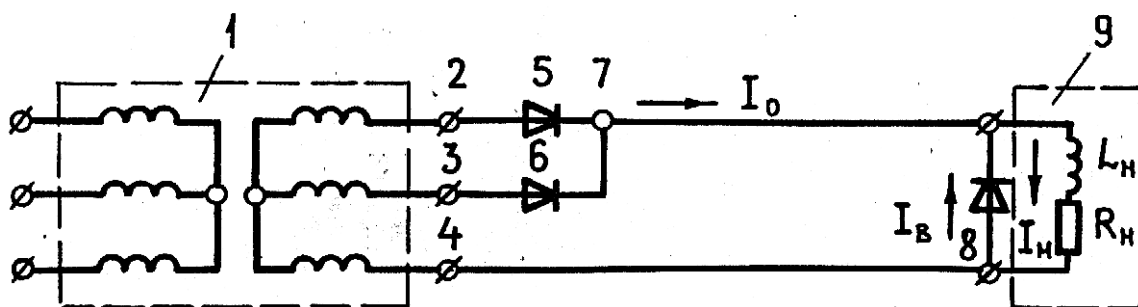


СИСТЕМА ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ: ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ

В.П. Колосюк, А.В. Колосюк
МакНИИ

*Приведены результаты исследования системы импульсного питания.
Показана возможность снижения потребления электроэнергии от
источника за счет использования ЭДС
самоиндукции нагрузки (электродвигателей)*

Исследована предложенная система импульсного питания, выходное напряжение которой представлено сдвоенными синусоидальными импульсами. Такое напряжение формируется благодаря применению схемы выпрямления (рис.1) с двумя вентилями (5, 6), питаемой от трехфазного трансформатора (1) согласно патенту RU 2079958 [1, 2]. Когда каждый вентиль выпрямляет поочередно одно из двух линейных питающих напряжений, а в течение действия третьего напряжения образуется пауза в течение $1/3$ периода частоты 50 Гц.



Особенностью системы является то, что индуктивная нагрузка (9), например, двигатель постоянного тока с последовательным возбуждением, в течение импульса тока питается от источника, а во время паузы - за счет ЭДС самоиндукции, возникающей в обмотках якоря и возбуждения двигателя. Причем, ток разряда индуктивной энергии в питающей линии и в схеме источника не протекает, а протекает только в контуре, образованном цепью нагрузки и шунтирующего ее полупроводникового вентиля (8), включенного встречно току источника.

Таким образом, выпрямленное напряжение источника и ток в линии (I_0), питающей индуктивную нагрузку, являются пульсирующими, вследствие чего не возникает устойчивых анодных или катодных зон от блуждающих токов в земле при электрофицированном транспорте, использующем рельсы в качестве обратного проводника. Следовательно, снижается опасность электрохимической коррозии рельсов и других металлических объектов, так или иначе связанных с рельсами.

Наличие паузы в токе питающей сети приводит к тому, что искрения, возникающие при нарушении контакта токосъемника электровоза или трамвая с контактным проводом, прекращаются при первой паузе, т.е. за время не более периода ($0,02 \text{ с}$), а само искрение является искрением безиндуктивной коммутации. Этим обеспечивается уменьшение износа как токосъемника, так и контактного провода.

Система импульсного питания создает и достаточные условия для обеспечения необходимых тяговых характеристик транспортных средств, а также предпосылки энергосбережения, т.к. снижается величина тока, потребляемого индуктивной нагрузкой системы (электродвигателями привода транспортных средств) от источника.

В разработанной системе импульсного питания среднее за период T значение выпрямленного напряжения определяется выражением

$$U_c = 1,17 U_\phi = 1,17 U_L / \sqrt{3} = 1,5 / \pi U_m, \quad (1)$$

где U_ϕ , U_L , U_m - соответственно фазное, линейное и амплитудное значения напряжения вторичной обмотки питающего трехфазного трансформатора.

Расчеты показывают, что по величине среднего выпрямленного напряжения разработанная система питания эквивалентна известной трехфазной одноконтурной схеме выпрямления, в которой используется трехфазный трансформатор с нулевым выводом, а нагрузка подключена к соединенным вместе катодам трех вентилях и к нулевой точке трансформатора. При применении трансформатора с вторичным напряжением обмоток $U_L = 420 \text{ В}$ среднее выпрямленное напряжение в предложенной системе будет $U = 283$, т.е. соответствует номинальному напряжению (250 В) для двигателей, применяемых в приводе шахтных контактных электровозов.

Среднее за период T значение тока двигателя будет

$$I_n = 1,5 / \pi U_m / R_n \quad (2)$$

$$\text{или } I_H = U_c / R_H$$

Это свидетельствует о том, что среднее значение тока в нагрузке не зависит от индуктивности цепи и определяется как частное от деления среднего значения выпрямленного напряжения на активное сопротивление нагрузки, т.е. как в безындуктивной цепи.

Среднее значение тока в линии I_o и тока в шунтирующей цепи I_b соответственно будет:

$$\begin{aligned} I_o &= 1,5 / \pi \frac{U_m}{R_H (1 + m^2)} \left(\frac{m^2}{2} K_1 + 1 \right) \\ I_b &= 1,5 / \pi \frac{U_m m^2}{R_H 2(1 + m^2)} K_2 \end{aligned} \quad (3)$$

где $m = X_H / R_H$ - отношение индуктивного сопротивления цепи к ее активному сопротивлению;

$$K_1 = \frac{(1 - e^{-\pi/m})(1 + e^{-\pi/2m})}{1 - e^{-3\pi/2m}}$$

$$K_2 = \frac{(1 + e^{-\pi/m})(1 - e^{-\pi/2m})}{1 - e^{-3\pi/2m}} \quad - \text{коэффициенты,}$$

зависящие от значения отношения индуктивного сопротивления цепи к ее активному сопротивлению.

Расчеты показывают, что средний ток в цепи нагрузки больше тока в линии, потребляемого от источника, на величину среднего тока, протекающего от действия ЭДС самоиндукции в нагрузке, зашунтированной вентилем.

Для двигателя типа ЭТ-46 мощностью 46 кВт, номинальной скоростью вращения $n = 1320$ об/мин, номинальным напряжением 250 В, активным сопротивлением обмоток (главных и дополнительных полюсов, обмотки якоря) $R_{дв} = 0,0750$ м и индуктивностью обмоток $L_H = 0,77 \cdot 10^{-2}$ Гн

$$R_H = R_{дв} + R_{\Sigma} = 0,075 + 1,151 = 1,226 \text{ Ом}$$

При указанных номинальных параметрах двигателя ЭТ - 46 имеем:

$$I_H = 231 \text{ А}; \quad I_b = 60 \text{ А}; \quad I_o = 171 \text{ А}.$$

Ток в линии и ток в шунтирующей цепи зависит от индуктивности цепи и от отношения m . Для ряда значений m при $R_H = 1,226 \text{ Ом}$ величины средних токов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Отношение	$m = X_H/R_H$	0	1	2	3	6
Средние токи, А	в нагрузке (I_H)	230	230	230	230	230
	в линии (I_o)	23	184	164	159	154
	в цепи шунтирования (I_B)	0	46	66	71	75

При весьма большой индуктивности ток от ЭДС самоиндукции (I_B) составляет до $1/3$, а ток от источника (I_o) - до $2/3$ тока нагрузки (I_H). (Сопротивлением R_Σ учитывается влияние противо-ЭДС двигателя.

средняя за период T мощность в линии будет

$$P_{OC} = 0,422 \frac{Um^2}{R_H} \frac{1}{1+m^2} \left[\frac{2}{\pi} \frac{m^3}{1+m^2} \frac{(1+e^{-\pi/m})(1+e^{-\pi/2m})}{1-e^{-3\pi/2m}} + 1 \right], \quad (4)$$

Средняя мощность от действия ЭДС самоиндукции - описывается зависимостью

$$P_{BC} = 0,422 \frac{Um^2}{\pi} \frac{m^3}{(1+m^2)^2} \frac{(1+e^{-\pi/m})^2(1-e^{-\pi/m})}{(1-e^{-3\pi/2m})^2}, \quad (5)$$

Средняя за период T мощность в нагрузке определится как сумма средних мощностей P_{OC} и P_{BC} :

$$P_{HC} = 0,422 \frac{Um^2}{R_H(1+m^2)} \left[\frac{1}{\pi} \frac{m^3}{(1+m^2)} A + 1 \right], \quad (6)$$

$$\text{где } A = \frac{(1+e^{-\pi/m})[2(1+e^{-\pi/2m})(1-e^{-3\pi/2m})+1-e^{-\pi/m}]}{(1+e^{-3\pi/2m})^2}$$

Заметим, что при прерывистой мощности в линии мгновенная мощность в нагрузке, хотя и является пульсирующей, но непрерывна.

Соотношение средних мощностей $P_{нс}$, $P_{ос}$ и $P_{вс}$ видно по расчетным данным, полученным при значениях: $U_m = 592$ В и $R_n = 1,226$ Ом для ряда значений m (табл. 2).

Таблица 2

Отношение	$m = X_n/R_n$	0	1	2	3	4	6
средняя (ак- тивная) мощ- ность, кВт	в нагрузке ($P_{нс}$)	121,5	95,6	90,0	89	88	87,8
	в линии ($P_{ос}$)	121,5	85,4	72,3	68,4	67,3	66,4
	в шунтирующей цепи ($P_{вс}$)	0	10,2	17,7	20,6	20,7	21,0

С увеличением отношения X_n/R_n средняя мощность в линии уменьшается, а в шунтирующей цепи увеличивается. При большой индуктивности практически до 25 % общей мощности в нагрузку поступает за счет ЭДС самоиндукции по шунтирующей цепи. Мощность в линии при таких условиях – не более 75 % мощности нагрузки.

Полученные данные подтверждены результатами экспериментальных исследований. Осциллографирование выходного напряжения системы импульсного питания, тока двигателя (тока нагрузки), тока в линии и тока в шунтирующей цепи показывает следующее: в форме выходного напряжения и тока в линии имеется пауза, а ток в нагрузке непрерывен. В качестве нагрузки использовался тяговый электродвигатель типа ЭДР-25 номинальной мощностью 25 кВт , номинальным числом оборотов 900 об/мин и номинальным часовым током 113 А. Из осциллограмм следует, что среднее напряжение на выходе системы $U = 265$ В (при максимальном напряжении $U_m = 555$ В). Средний ток в цепи двигателя (нагрузки) $I_n = 200$ А, а средний ток в линии $I_o = 160$ А, что составляет 80 % среднего тока. Средний ток в шунтирующей цепи (в цепи шунтирующего вентиля) $I_v = 47$ А. Расчетные значения токов для двигателя ЭДР-25 при таких условиях составляют: $I_n = 204$ А; $I_o = 165$ А; $I_v = 42,8$ А.

Выводы

1. Установлены закономерности, позволяющие определять ток и мощность в системе импульсного питания. Показано, что при импульсном питании нагрузки (электродвигателя), зашунтированного вентилем, среднее значение тока в цепи нагрузки превышает значение тока в питающей линии.
2. Этот эффект возникает вследствие разряда через цепь нагрузки энергии, запасаемой в ее индуктивных элементах, если обеспечить

запирание источника и шунтирование нагрузки вентилем, включенным встречно току источника.

В системе импульсного питания создаются условия снижения энергопотребления электрической нагрузкой, предотвращения образования устойчивых анодных зон в рельсовых цепях и снижения коррозии металлических объектов, а также улучшения гашения электрической дуги на контакте: токосъемник электровоза - контактный провод и снижения их износа при обеспечении необходимых тяговых характеристик привода транспортных средств.

Литература

1. Патент RU 2079958. Колосюк В.П., Колосюк А.В. Система для преобразования переменного тока в постоянный для питания нагрузки. Бюллетень изобретений № 4, 20.05.97.
2. Колосюк В.П., Трач А.И. Электроснабжение шахтных контактных электровозов: Справочное пособие. - М.: Недра, 1992 - 256 с.