

О возможности применения бесконтактной передачи электроэнергии для питания маломощных потребителей от проводников контактной сети электрических железных дорог переменного тока

А.А. Капкаев, А.В. Бойко

Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону

Аннотация: Данная статья посвящена исследованию проблемы питания маломощных потребителей распределенных вдоль пути электрических железных дорог переменного тока, которыми могут выступать как системы датчиков диагностики автоматизированных систем управления различных объектов, расположенных вдоль контактной сети. Основная часть статьи посвящена описанию первичной модели необходимой для дальнейшего рассмотрения подобного метода электрического питания и экспериментального моделирования.

Ключевые слова: бесконтактная передача электроэнергии, емкостная связь, электроснабжение, контактная сеть, электрические железные дороги.

В России протяженность железных дорог составляет порядка 1,5 млн. км. и вдоль этих линий имеются немало потребителей малой мощности связанными с эксплуатацией и обслуживанием подвижного состава, машин и механизмов, для питания электрооборудования депо, промышленных предприятий, линейных устройств автоблокировки, освещения станций и т. п. Большую роль так же играют датчики и оборудование относящееся к системам диагностики и автоматизированного управления участками электрических железных дорог. Данное оборудование зачастую располагается вдоль участков электрических железных дорог, с развитием и модернизацией оборудования электрических железных дорог потребность в таких системах увеличивается [1].

По количеству потребляемой энергии подобные потребители условно делят на 2 группы – крупные и мелкие. К мелким потребителям относят нагрузки освещения промежуточных станций, остановочных пунктов, линейно-путевых зданий, устройств автоблокировки, системы диагностики, и различные датчики для цепей управления и сбора данных. Для них

характерна большая рассредоточенность и сравнительно малые электрические нагрузки в каждом из них. Для питания этой группы потребителей применяется система продольного электроснабжения, включающая в себя источники питания, протяженные линии электропередачи, проложенные вдоль путей, и трансформаторные подстанции, подключенные к ним.

Централизованное электроснабжение таких потребителей, с применением понизительных подстанций с силовыми трансформаторами требует значительных капитальных вложений. Очевидно, что, во первых, сооружение подстанций обходится очень дорого, а во вторых, трансформаторы во многих случаях работают на холостом ходу. Электрификация этих маломощных потребителей с использованием выпускаемых трансформаторов вызывают лишние капиталовложения, кроме того будут иметь место завышение ежегодных издержек за счет больших потерь холостого хода в трансформаторах [2]. В этом случае альтернативным решением является попытка осуществлять питание объектов за счёт емкостной электрической связи с линией высоковольтной электропередачи. Этой проблеме посвящен ряд работ как в России [3-6], так и за рубежом [7,8].

Воспользуемся следующей точечной моделью [3,4] емкостного связи некоторого проводника протянутого параллельно проводникам контактной сети (КП+НТ) (рис.1,а).

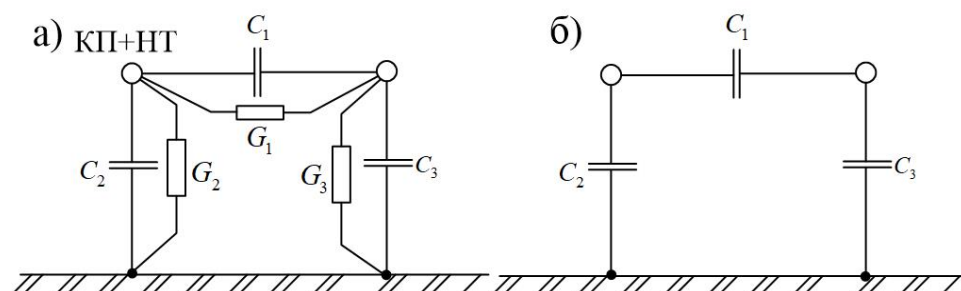


Рис. 1. – Двухмерная модель емкостного отбора мощности

Поскольку продольные проводимости в данном случае очень малы, то ими можно пренебречь и упростить модель (рис.1, б).

Определим емкостные зависимости в данной модели:

1) Поскольку емкостная связь между контактным проводом и несущим тросом очень мала, то приведем их к эквивалентному проводнику (КП+НТ).

2) Относительная диэлектрическая проницаемость воздуха $\varepsilon = 1$

3) Расстояние между проводниками могут изменяться, например, в соответствии с исполнением контактной сети.

$$C_1 = \frac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot l}{\ln\left(\frac{d^2}{a_1 \cdot a_2}\right)},$$

где, ε_0 – электрическая постоянная; a_1, a_2 – радиус проводников, м; d – расстояние между проводниками, м; l – глубина модели (длина провода), м.

Рассматривая землю в качестве большого проводящего тела [9] можно представить схему из Рис.1 б в виде следующей схемы замещения:

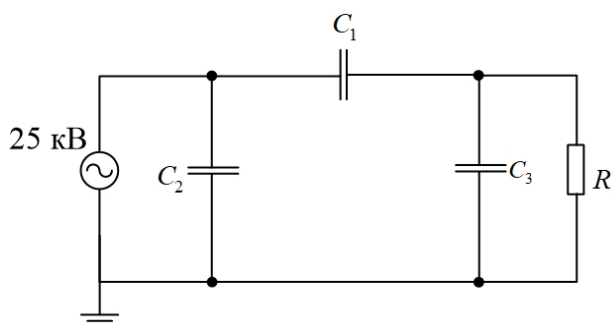


Рис. 2 – Схема замещения.

В данном случае ёмкость C_2 отражающая электрическую связь контактной сети с землей и не будет представлять интереса [10]. В частности передача электроэнергии от источника питания будет происходить через ёмкость C_1 которая зависит от радиусов проводников, расстояния между ними и глубины модели т.е. протяжённости дополнительной линии вдоль проводников контактной сети.

Мы можем записать значение полного комплексного сопротивления такой системы при условии рассмотрения только участка с элементами C_2 , C_3 и некоторого электроприёмника отображённого в виде активного сопротивления R_H :

$$\underline{Z} = -jx_{C2} + \frac{(-jx_{C3}) \cdot R_H}{R_H - jx_{C3}}. \quad (1)$$

Далее исходя из выражения (1), можем найти комплексную величину напряжения на элементе C_3 параллельно которому подключается нагрузка R_H :

$$\dot{U}_{x_{C3}} = \dot{I} \frac{(-jx_{C3}) \cdot R_H}{R_H - jx_{C3}} \quad (2)$$

При этом используя величина тока определяемую по закону Ома можно записать выражение определяющее значение напряжения на электроприёмнике через соотношения сопротивлений и напряжение источника питания:

$$\dot{U}_{x_{C3}} = \frac{\dot{U}(-jx_{C3}) \cdot R_H}{-x_{C3} \cdot x_{C2} - jR_H(x_{C2} + x_{C3})} \quad (3)$$

Используя так же выражения (2) и (3) можно перейти к определению которую может развивать подключаемый электроприёмник определить мощность на элементе C_3 и R_H умножив обе части выражения на соответствующее значение сопряжённого комплекса тока протекающего через элемент C_2 тогда:

$$\tilde{I}_{C2} \dot{U}_{x_{C3}} = \frac{\tilde{I}_{C2} \cdot \dot{U}(-jx_{C3}) \cdot R_H}{-x_{C3} \cdot x_{C2} - jR_H(x_{C2} + x_{C3})}; \quad \tilde{I}_{C2} \dot{U}_{x_{C3}} = I_{C2}^2 \frac{(-jx_{C3}) \cdot R_H}{R_H - jx_{C3}}$$

В полученных выражениях можно так же выделить величину активной и реактивной мощности в частности для второй записи:

$$\tilde{I}_{C2} \dot{U}_{x_{C3}} = \frac{I_{C2}^2 \cdot x_{C3}^2 \cdot R_H}{R_H^2 + x_{C3}^2} - j \frac{I_{C2}^2 \cdot x_{C3} \cdot R_H^2}{R_H^2 + x_{C3}^2} = P - jQ$$

В дальнейшем, принимая за основу данные выражения в первичном приближении можно производить моделирование максимально и минимально возможной мощности электроприемника [11] получающего электрическую энергию за счет емкостной связи с токоведущим проводником. Базируясь на данной модели авторы статьи будут рассматривать возможность реализации не только емкостного отбора мощности, но и возможности применения данного метода при обнаружении напряжения в линии [12] что позволяет использовать подобный подход как систему диагностики и питания.

Литература

1. Гибадуллин А.А. Модернизация электроэнергетики // Инженерный вестник Дона, 2012, №2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/797
2. Ильинова С.В. Повышение экономической эффективности экологической безопасности транспортной системы // Инженерный вестник Дона, 2010, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/298
3. Булашевич Д.Н, Юренков В.Д. Емкостной отбор мощности от линии электропередачи. М.: Госэнергоиздат, 1959. 136 с.
4. Щербаков В.К. Промежуточный отбор мощности в настроенных на полуволну электропередачах последовательно включенными трансформаторами // Известия СО РАН СССР. 1960. № 11. 188 с.
5. Кобылин В.П. Повышение эксплуатационной надёжности электросетевого хозяйства на Севере. Новосибирск: Наука, 2006. 223 с.
6. Воропай Н.И., Самородов Г.И., Кобылин В.П., Седалищев В.А., Лифир-Су Р.П., Кобылин А.В. Формирование электрических сетей Республики

Саха (Якутия) с учетом развития электроэнергетических центров Востока России // Энергетическая политика. 2011. Вып. 5. С. 49–59.

7. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J.M., García Puertas D., Bañri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines // ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.

8. F.Wu Felix China's Future in Electric Energy / F.Wu Felix, Fu Shuti // IEEE Power and Energy. 2005. July/August. Vol. 3. № 4. 10. Edris A. FACTS Technology Development: An Update / A. Edris // IEEE power engineering review. 2000. № 3. pp. 4–15.

9. Электрическая система с заземленной нейтралью. Патент РФ 2535902 / Королюк Ю.Ф., Бурянина Н.С., Лесных Е.В.; заявл. 19.06.2014, опубл. 20.12.2014; Бюл. № 35

10. Контактная сеть: учебник для вузов ж.-д. трансп. / Марквардт К. Г. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1994. – 335 с.

11. Бурлака В. В., Гулаков С. В., Поднебенная С. К., Скосырев В. Г. Анализ подходов к реализации систем беспроводной передачи энергии с использованием низкочастотных магнитных полей // ГБУЗ «Приазовский государственный технический университет». 2017. №35. URL: cyberleninka.ru/article/n/analiz-podhodov-k-realizatsii-sistem-besprovodnoy-peredachi-energii-s-ispolzovaniem-nizkochastotnyh-magnitnyh-poley

12. Виноградов А. Б. Устройство отбора мощности от линии электропередачи для питания измерительных устройств // Вестник УлГТУ. 2001. №4 (16). URL: cyberleninka.ru/article/n/ustroystvo-otbora-moschnosti-ot-linii-elektroperedachi-dlya-pitaniya-izmeritelnyh-ustroystv.

References

1. Ilinova S. V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, № 4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2010/298
2. Gibadullin A. A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2012/797
3. Bulashevich D.N., Yurenkov V. D. Emkostnoj otbor moshhnosti ot linii jelektroperedachi [Capacitive power take-off from the power line]. Moscow: Gosenergoizdat, 1959. 136 p.
4. Shherbakov V.K. Izvestiya SB RAN SSSR. 1960. № 11. 188 p.
5. Kobylin V.P. Povyshenie jekspluatacionnoj nadèzhnosti jelektrosetevogo hozjajstva na Severe [Increase of operational reliability of electric grid economy in the North]. Novosibirsk: Nauka, 2006. 223 p.
6. Voropaj N.I. Jenergeticheskaja politika. 2011. № 5. pp. 49–59.
7. Alvarez Gomez F., De Maria Garcia J. M., García Puertas D., Baïri A., Granizo Arrabe R. Numerical study of the thermal behavior of bare overhead conductors in electrical power lines ACELAE'11 Proceedings of the 10th WSEAS international conference on communications, electrical & computer engineering, and 9th WSEAS international conference on Applied electromagnetics, wireless and optical communications, 2011. pp. 149 – 153.
8. Felix F. Wu. China's Future in Electric Energy Felix F. Wu, Shutu Fu IEEE Power and Energy. 2005. July August. Vol. 3. № 4. 10. Edris A., FACTS Technology Development: an Update Au A. Edris IEEE power engineering review. 2000. No. 3. pp. 4-15.
9. Electrical system with grounded neutral. Patent RF 2535902 Korolyuk Yu. F., Buryanina N. S., Lesnykh E. V.; zayavl. 19.06.2014, publ. 20.12.2014; Byul. № 35.



10. Kontaktnaja set': uchebnik dlja vuzov zh.-d. transp. [Overhead contact system: textbook for railway transport institutes of higher education]. Markvardt K. G., 4-izd., pererab. i dop. M.: Transport, 1994. 335 p. ISBN 5-277

11. Burlaka V. V., Gulakov S. V., Podnebennaya S. K., Skosyrev V. G. GVUZ «Priazovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet». 2017. №35. URL:cyberleninka.ru/article/n/analiz-podhodov-k-realizatsii-sistem-besprovodnoy-predachi-energii-s-ispolzovaniem-nizkochastotnyh-magnitnyh-poley

12. Vinogradov A. B. Vestnik UIGTU. 2001. № 4. URL:cyberleninka.ru/article/n/ustroystvo-otbora-moschnosti-ot-linii-elektropredachi-dlya-pitaniya-izmeritelnyh-ustroystv