

КВАНТОВАННАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

М. В. Чашко, к.т.н., доц.

Донецкий национальный технический университет

ул. Артема, 58, 83001, г. Донецк, Украина

E-mail markchashko@rambler.ru

Представлена технология электропередачи, обеспечивающая снижение потерь энергии в линии по сравнению с традиционной аналоговой технологией. Энергия передается по линии импульсами (квантами) в емкость, локализованную вблизи нагрузки, а в нагрузку поступает из емкости. Снижение относительных потерь обусловлено большей передаваемой мощностью за счет передачи в нагрузку энергии магнитного поля линии.

Ключевые слова: импульсы тока, переданная мощность, потери энергии.

Введение. Работа посвящена технологии электропередачи, позволяющей снизить расход энергии в линиях.

Актуальность проблемы. В Украине наблюдается растущий интерес к интенсивно развивающейся во всем мире концепции электроэнергетики Smart Grid [1]. В соответствии с этой концепцией локальная территория снабжена несколькими генерирующими мощностями разной природы (ветро-, солнечными, тепловыми и т. д. преобразователями) и аккумулирующими устройствами. Они должны обеспечить электропотребителей надежно, экологически чисто и с минимальными потерями.

Регулирование генерирующих и аккумулирующих мощностей обеспечивает силовая полупроводниковая техника, оптимальный режим функционирования обеспечивает программа средств управления. Связь между генерирующими, аккумулирующими и потребляющими электрическую энергию объектами должны обеспечить экономичные по потерям устройства электропередачи.

Существующие технологии электропередачи не обеспечивают такой экономичности: согласно отчетам Минтопэнерго Украины, потери электроэнергии в электрических сетях составляют более 14 % энергии, отпущенной в сеть. Стоимость потерянной энергии более 800 млн долларов [2].

Описанная ниже технология способна уменьшить указанные потери.

Анализ предыдущих исследований. Исследования в области передачи энергии ведутся многие десятилетия. Однако известные работы, как показано в обзоре [3], посвящены исключительно передаче энергии аналоговым процессом и не затрагивают альтернативных способов, в частности, передачи энергии импульсами.

Цель работы. Представить условия, в которых квантование потока электроэнергии способно обеспечить снижение ее потерь в линиях передачи.

Материал и результаты исследования. Идея работы заключается в том, что электрическая энергия при передаче поступает не непосредственно в нагрузку, а предварительно в емкость, вбирающую энергию и электрическую, и магнитного потока линии, так что при тех же потерях мощности, обусловленных током линии, потребителю передается дополнительно энергия магнитного потока. Это приводит к уменьшению относительных потерь.

П о н я т и е . Устройство передачи энергии содержит (рис. 1, а) источник энергии постоянного или переменного тока, линию передачи, полупроводниковые ключи, приемник энергии, накопитель энергии, нагрузку. Дополнительно устройство может содержать элементы, согласующие импульсную передачу с аналоговым источником энергии и ана-

логового нагрузкой (на рисунке не показаны).

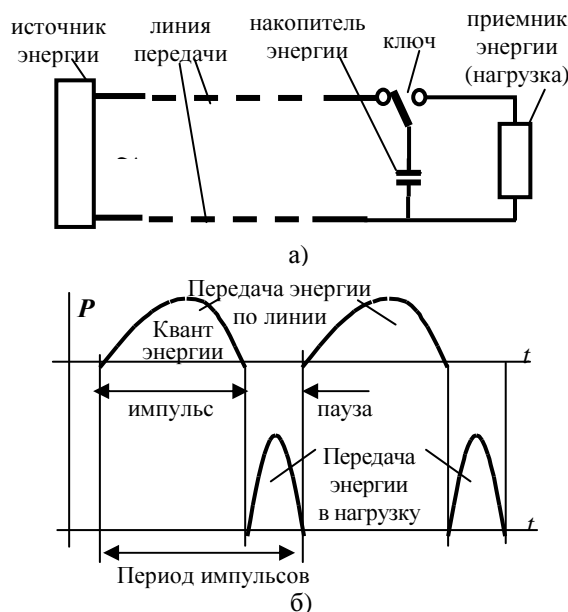


Рисунок 1 – Передача энергии импульсами:
а – схема, б – временная диаграмма

Для передачи энергии ключи периодически замыкаются, так что по линии ток импульсами (квантами) проходит в накопитель и из накопителя в нагрузку (рис. 1, б).

Создана теоретическая модель передачи, связывающая энергетические параметры (мощность, переданную нагрузке и рассеянную) с временными параметрами (длительностью и периодом импульсов) и параметрами линии (ее индуктивностью и омическим сопротивлением), и определены условия, при которых передача энергии импульсами эффективна (относительные потери квантованной передачи ниже, чем традиционной аналоговой). Указанные теоретические модели созданы для электропередачи постоянного тока и переменного однофазного и трехфазного.

Передача от источника постоянного тока. Определяются потери в линии и переданная мощность за период импульсов, а затем их отношение.

Потери в линии, как известно,

$$P_{II} = \frac{2}{T} \int_0^T R_{Л} i^2 dt, \quad (1)$$

где P_{II} – потери мощности в линии при квантованной передаче, Вт; T – период импульсов, с; $R_{Л}$ – омическое сопротивление линии, Ом; i – ток в импульсе, А; t – время, с.

Импульс тока – это ток заряда конденсатора от источника энергии через омическое сопротивление и индуктивность линии. Емкость конденсатора принимается такой, чтобы обеспечить колебательный заряд, так что импульс – это половинка синусоиды от нуля до нуля тока. Период колебания обусловлен индуктивностью линии и емкостью конденсатора, амплитуда – волновым сопротивлением цепи индуктивность – емкость. И период, и амплитуда зависят от омического сопротивления линии, но для линий электропередач эта зависимость невелика и принята незначимой. Так что мгновенное значение тока в импульсе

$$i = \frac{U}{\rho} \sin \omega t, \quad (2)$$

где U – напряжение источника энергии, В; ρ – волновое сопротивление цепи индуктивность – емкость, Ом; ω – круговая частота колебаний контура индуктивность – емкость, c^{-1} .

Через параметры цепи волновое сопротивление, период и частота выражаются следующим образом:

$$\rho = \sqrt{\frac{L_{Л}}{C}}; \quad T = \frac{2\pi}{\omega}; \quad \omega = \frac{1}{\sqrt{L_{Л}C}}. \quad (3)$$

Здесь обозначено $L_{Л}$ – индуктивность линии, Гн; C – емкость конденсатора, Ф.

С учетом приведенных выше формул после интегрирования и алгебраических преобразований выражение для потерь в линии

$$P_{И} = \frac{R_{Л}}{2} \frac{U^2}{\rho^2}. \quad (4)$$

Мощность, передаваемая по линии в конденсатор,

$$P_{И} = \frac{2}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} u_C i dt, \quad (5)$$

где u_C – мгновенное значение напряжения на конденсаторе, В.

$$u_C = \frac{1}{C} \int i dt. \quad (6)$$

На основании формул (2), (6) и (5) интегрированием и алгебраическими преобразованиями показано, что переданная за период в конденсатор мощность

$$P_{И} = \frac{U^2}{\pi\rho}. \quad (7)$$

Из выражений для мощности и потерь следует, что они не зависят от нагрузки. Это кажущееся парадоксальным явление обусловлено тем, что энергия по линии передается не непосредственно в нагрузку, а в конденсатор, так что ток линии обусловлен волновым сопротивлением цепи индуктивность линии – конденсатор, а не нагрузкой.

Для определения целесообразной области применения квантованная передача сравнивается с передачей аналоговой, традиционной по относительным потерям.

Относительные потери в квантованной передаче:

$$\bar{P}_{И} = \frac{P_{И}}{P_A} = \frac{\pi R_{Л}}{2\rho} = \frac{\pi R_{Л}}{2} \sqrt{\frac{C}{L_{Л}}}. \quad (8)$$

В аналоговой передаче

$$\bar{P}_A = \frac{P_A}{R_H} = \frac{R_{Л}}{R_H}, \quad (9)$$

где \bar{P}_A , P_A и P_A – соответственно, относительные и абсолютные Вт, потери мощности и переданная по

линии мощность Вт, в аналоговой передаче; R_H – сопротивление нагрузки, Ом.

Область, рациональная по относительным потерям, описывается неравенством:

$$\bar{P}_{И} < \bar{P}_A \rightarrow \frac{\pi R_{Л}}{2} \sqrt{\frac{C}{L_{Л}}} < \frac{R_{Л}}{R_H}. \quad (10)$$

Алгебраическими преобразованиями получено выражение для области параметров, в которой относительные потери в линии в квантованной передаче меньше, чем в передаче постоянным током:

$$T < 4 \frac{L_{Л}}{R_H}, \quad (11)$$

То есть, чтобы передача квантами была экономичней, чем аналоговая, период повторения квантов должен быть как минимум вчетверо меньше, чем отношение индуктивности линии к сопротивлению нагрузки.

Передача от источника переменного тока. Технология и схема (рис. 2) передачи электроэнергии от источника переменного тока частотой 50 Гц такая же, как описано выше для передачи постоянным током.

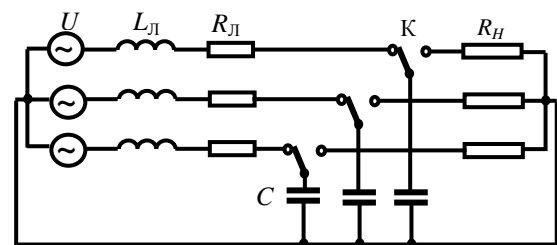


Рисунок 2 – Схема электропередачи от источника переменного тока

Осциллограмма процесса представлена рис. 3.

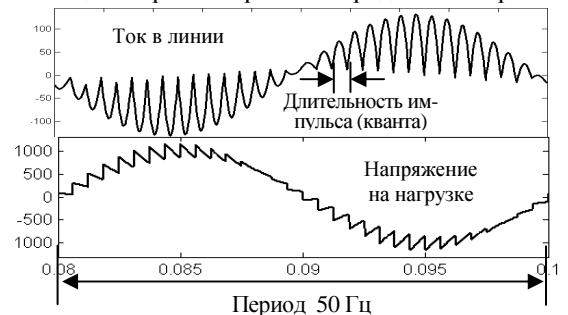


Рисунок 3 – Осциллограмма электропередачи квантами от источника переменного тока

Ниже выполнен анализ для одной фазы синусоидального напряжения, переход к трехфазному напряжению не представляет трудностей, а вывод от количества учтенных фаз не зависит.

Передаваемая мощность и потери в линии определены как суммы энергий, переданных в нагрузку (рассеянных в линии) импульсами за период источника 50 Гц, разделенные на длительность этого периода (20 мс).

Потери энергии при передаче одного кванта

$$w_k = \frac{R_{Л}}{2} \frac{U_k^2}{\rho^2} T_k. \quad (12)$$

Здесь w_k – потери энергии в линии за время k -го импульса, ВАС; U_k – напряжение источника энергии во время k -го импульса, В; T_k – длительность импульса, с.

$$U_k = U_m \sin T_k k, \quad (13)$$

где U_m – амплитуда напряжения источника, В.

Потери мощности в линии за период синусоидального напряжения питания

$$P_{И\approx} = \frac{1}{T_{\Omega}} \sum_{k=1}^N w_k, \quad (14)$$

где T_{Ω} – период синусоидального напряжения, с; N – число квантов в этом периоде. Очевидно, что $N=T_{\Omega}/T$.

В общем случае длительность кванта может не совпадать с периодом импульсов. Например, при регулировании потока энергии изменением частоты импульсов $T \geq T_k$. Дальнейшие выкладки выполнены для максимального потока энергии, когда $T = T_k = \pi\sqrt{L_{Л}C}$.

Подстановками в выражение (14) формул (12) и (13) получено выражение для потерь при питании от источника переменного тока:

$$P_{И\approx} = \frac{R_{Л}}{4} \frac{U_m^2}{\rho^2}. \quad (15)$$

При выводе использована табличная формула для суммы квадратов синусов [4].

Передаваемая по линии одним квантом мощность

$$W_k = \frac{U_k^2}{\pi\rho} T. \quad (16)$$

Мощность средняя за период синусоидального напряжения питания

$$P_{И\approx} = \frac{1}{T_{\Omega}} \sum_{k=0}^N W_k. \quad (17)$$

Подстановками в выражение (17) формул (13) и (16) получено выражение для мощности, передаваемой по линии от источника переменного тока:

$$P_{И\approx} = \frac{U_m^2}{2\pi\rho}. \quad (18)$$

Относительные потери имеют тот же вид, что и при питании от источника постоянного тока:

$$\frac{P_{И\approx}}{P_{И\approx}} = \frac{\pi R_{Л}}{2\rho}. \quad (19)$$

В аналоговой передаче от источника переменного тока относительные потери представлены выражением (9). Соответственно, область, в которой относительные потери квантованной передачи меньше, чем традици-

онной аналоговой, описывается неравенством (11).

На рис. 4 области рационального применения квантованной передачи представлены графически в координатах длительность кванта – относительная индуктивность линии.



Рисунок 4 – Области целесообразности квантования

Из графика видно, что области меньших потерь мощности расширяются с уменьшением длительности кванта (увеличением частоты квантования) и с увеличением индуктивности линии. Это происходит из-за увеличения переданной мощности за счет энергии магнитного потока линии при тех же потерях.

Выводы. Существуют параметры электропередачи (индуктивность линии, сопротивление нагрузки), при которых квантование потока энергии обеспечивает меньшие относительные потери в линии, чем аналоговая передача энергии.

Длительность кванта, обеспечивающая снижение потерь, пропорциональна отношению индуктивности линии передачи к сопротивлению нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции Smart Grid. – М.: ИАЦ Энергия, 2010. – 208 с.
2. Гавриш О., Леденев А. Підтримати струм. <http://news.finance.ua/ua/toplist/~2/3/202206>.
3. Куро Ж. Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении. – Новости электротехники, 2005. – № 1–2 (31–32). – С. 1–19.
4. Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. – М.: Физматгиз. – 1963. – 1100 с.

Стаття надійшла 30.06.2011 р.
Рекомендовано до друку д.т.н., проф.
Родькіним Д.Й.

КВАНТОВАНА ПЕРЕДАЧА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

М. В. Чашко, к.т.н., доц.

Донецький національний технічний університет

вул. Артема, 58, 83001, м. Донецьк, Україна

E-mail: markchashko@rambler.ru

Доведена технологія електропередачі, що забезпечує зниження втрат енергії в лінії в порівнянні з традиційною аналоговою технологією. Енергія передається по лінії імпульсами (квантами) в ємність, локалізовану біля навантаження, а в навантаження надходить з ємності. Зниження відносних втрат зумовлено більшою потужністю, що передається, за рахунок передачі в навантаження енергії магнітного поля лінії.

Ключові слова: імпульси струму, передана потужність, втрати енергії

QUANTIZED POWER TRANSMISSION

M. Chashko, Cand.Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

Donetsk National Technical University

ul. Artema, 58, 83001, Donetsk, Ukraine

E-mail: markchashko@rambler.ru

The technology power, with reduced energy losses in the line as compared with traditional analog technology. Energy is transferred through the pulses into capacitor, close to the load, the load comes from the capacitor. Reduction of losses due to the greater relative power transmitted through the transfer of the load of the magnetic field lines.

Key words: pulses, transmitted power, loss of energy.