

ТЕХНОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКОМ ЭНЕРГИИ

М.В.Чашко

Донецкий национальный технический университет

Кафедра ЭМиТОЭ, ДНТУ, ул. Артема 58, г. Донецк, 83001, Украина

Тел./факс: 80504743874, E-mail: markchashko@rambler.ru

Annotation – The transmission of electric power by impulses multiplies its efficiency.

Key words – electromagnetic energy, impulse of current, electric transmission.

ВВЕДЕНИЕ

Работа посвящена передаче энергии от источника потребителю импульсами электрического тока.

Актуальность темы обусловлена освоением мировой электроэнергетикой концепции Smart Grid – интеллектуальных электрических систем, неизменным элементом которых является возможность управления потоками энергии.

Состояние вопроса. В существующих технологиях электропередачи энергия передается аналоговым образом, непрерывным постоянным или переменным током [1]. При этом, как правило, управление потоком передаваемой по линии энергии не предусмотрено. Исключения составляют гибкие линии, которые содержат полупроводниковые преобразователи и емкости между ними.

В то же время импульсные технологии успешно применяются для управления потоками информации, в электромеханическом преобразовании, в технологиях обработки материалов. Представляется целесообразным оценить возможность с помощью импульсной технологии управлять потоками электрической энергии.

Цель работы – представить технологию электропередачи, позволяющую управлять потоком энергии аппаратно, изменением команд.

СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Идея технологии состоит в том, что ток от источника по линии передается в емкость полувольтной колебания контура индуктивность линии – емкость. Управляя периодом повторения этих полувольт можно управлять потоком энергии.

Устройство передачи представлено на рис. 1.

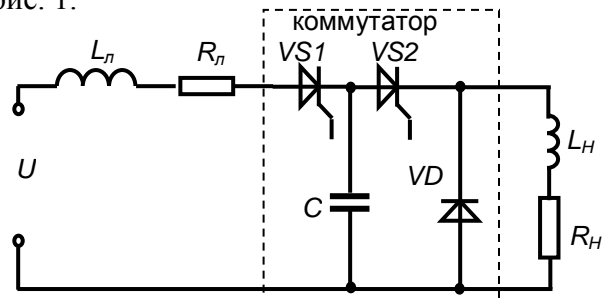


Рис.1.

Оно содержит тиристоры $VS1$ в цепи линии и $VS2$ в цепи нагрузки, конденсатор C и диод VD , шунтирующий нагрузку.

Изменение параметров во времени в процессе передачи энергии представлено на рис. 2.

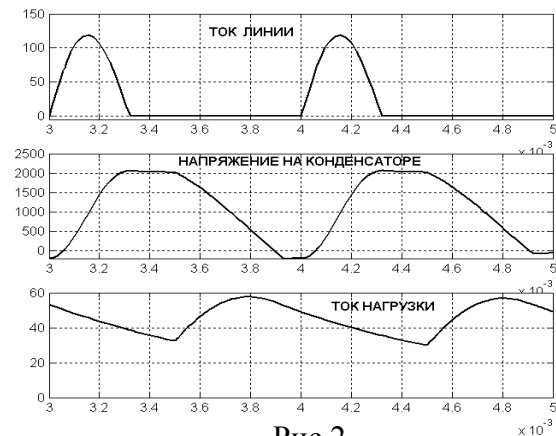


Рис.2.

Включается $VS1$, по линии проходит импульс тока в виде половины синусоиды частотой колебательного контура цепи $Lл - Rл - C$. Когда ток проходит через нуль, $VS1$ закрывается, конденсатор заряжен источником энергии, в нагрузке ток от предыдущих импульсов проходит по цепи $LH - RH - VD$. Затем, в общем случае после паузы, включается $VS2$, конденсатор разряжается током нагрузки по цепи $LH - RH$

– C , его энергия передается в цепь нагрузки. Когда напряжение на конденсаторе станет равным нулю, $VS2$ закрывается и открывается VD . Затем, в общем случае после паузы, цикл повторяется.

Для получения большей мощности целесообразно передавать по линии энергию, пока конденсатор разряжается на нагрузку. Это реализуется схемой рис. 3.

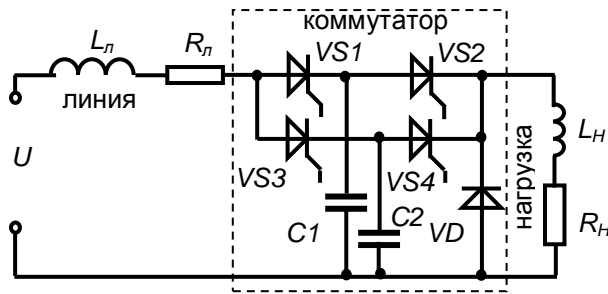


Рис.3.

Устройство содержит еще один узел с элементами $VS3$, $VS4$ и $C2$, которое работает в противофазе с $VS1$, $VS2$, $C1$. Мгновенные значения токов представлены на рис. 4.

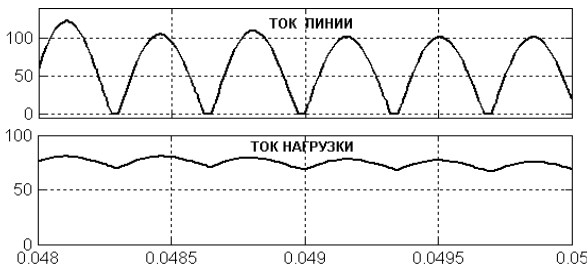


Рис. 4

Математическая модель строится для зависимости потока энергии от временных параметров передачи – длительностей импульса, периода импульсов и паузы.

Импульсом тока в конденсатор передается количество энергии

$$W = 0,5U_C^2 C \cong 2U^2 C. \quad (1)$$

Тут W – энергия, переданная по линии в конденсатор за импульс тока, $ВА \cdot с$; U_C – напряжение на конденсаторе по окончании импульса тока, В; C – емкость конденсатора, Ф; U – напряжение источника энергии, В.

Знак приближенности обусловлен допущением, что длительность импульса существенно меньше электромагнитной

постоянной времени линии передачи. Порядок постоянной времени – десятки миллисекунд, так что для импульсов длительностью порядка миллисекунд (частота ≥ 1 кГц) допущение обосновано.

Мощность, передаваемая по линии,

$$P = \frac{W}{T_{II} + T_{II}}, \quad (2)$$

где T_{II} – длительностей импульса тока линии, с; T_{II} – длительность паузы, с.

$$T_{II} = \pi \sqrt{L_{\text{Л}} C}. \quad (3)$$

$L_{\text{Л}}$ – индуктивность линии, Гн.

Длительность паузы является параметром, посредством которого управляется поток энергии, сдвоенном коммутаторе (рис. 3) продолжительность разряда конденсатора не влияет на период.

На основании приведенных формул определена максимальная мощность, передаваемая по линии (при $T_{II} = 0$):

$$P_{\text{max}} = \frac{2}{\pi} U^2 \sqrt{\frac{C}{L_{\text{Л}}}}. \quad (4)$$

Управляемый паузой поток энергии

$$P = \frac{P_{\text{max}}}{1 + \bar{t}_{II}}, \quad (5)$$

где $\bar{t}_{II} = T_{II} / T_{II}$ – относительная длительность паузы.

Как видно на рис. 2 и 4, ток нагрузки колеблется около среднего значения. Это является следствием импульсной передачи. Необходимо определить, от каких параметров зависит отклонение мгновенного тока от среднего, чтобы можно было снизить его до допустимого значения.

Из закона сохранения энергии следует

$$2U^2 C = \frac{L_{\text{H}}}{2} (I_{\text{HK}}^2 - I_{\text{HH}}^2), \quad (6)$$

$$2CU^2 = I_{\text{HCP}}^2 R_{\text{H}} T, \quad (7)$$

$$T = T_{II} + T_{II}, \quad (8)$$

где L_{H} и R_{H} – индуктивность и сопротивление цепи нагрузки, Гн и Ом; I_{HH} , I_{HK} и I_{HCP} – токи в цепи нагрузки – начальное, конечное и среднее значения, А; T – период повторения импульсов, с.

Из зависимостей (6), (7) алгебраическими преобразованиями определены абсолютное и относительное значения мак-

симального отклонения:

$$\Delta I_H = \frac{U}{\sqrt{2\rho_H}} \sqrt{\frac{T}{\tau_H}}, \quad (9)$$

$$\delta = \frac{\Delta I_H}{I_{HCP}} = \frac{T}{2\tau_H}. \quad (10)$$

Здесь ΔI_H и δ – абсолютное и относительное отклонение тока от среднего значения, А; $\rho_H = \sqrt{L_H/C}$ – волновое сопротивление цепи нагрузки, Ом; $\tau_H = L_H/R_H$ – постоянная времени цепи нагрузки, с.

Описанная технология управления потоком энергии применима к передаче переменного тока. Схема коммутации сложнее из-за необходимости коммутировать знакопеременный ток, но технически реализуема достаточно просто на силовых полупроводниковых модулях.

Математическая модель, связывающая энергетические и временные параметры передачи, строится на основании зависимостей:

$$P = \frac{2}{T_\approx} \sum_{i=1}^{N/2} w_i; \quad (11)$$

$$w_i = 2Cu_i^2; \quad (12)$$

$$u_i = U_m \sin 2\pi \frac{T}{T_\approx} i. \quad (13)$$

Тогда

$$P_\approx = 2CU_m^2 \frac{2}{T_\approx} \sum_{i=1}^{N/2} \sin^2 2\pi \frac{i}{N}. \quad (14)$$

Тут обозначено P_\approx – мощность, передаваемая от источника переменного тока, ВА; T_\approx – период колебаний переменного тока, с; w_i – энергия, передаваемая одним импульсом, ВАс; u_i – мгновенное значение напряжения источника энергии в момент коммутации, В; U_m – амплитуда напряжения источника энергии, В; T – период коммутации, с; N – число импульсов за период колебаний переменного тока.

Подстановкой значения суммы из [2, С.43] и алгебраическими преобразованиями получено искомое выражение:

$$P_\approx = \frac{CU_m^2}{T} = \frac{CU_m^2}{T_H + T_\Pi}. \quad (15)$$

Максимальное значение поток мощности имеет при $T_\Pi = 0$:

$$P_{\approx max} = \frac{CU_m^2}{T}, \quad (16)$$

относительное значение

$$\frac{P_\approx}{P_{\approx max}} = \frac{1}{1 + \bar{t}_\Pi} = \frac{1}{S}, \quad (17)$$

(S – сважность импульсов тока), то есть то же, что и для передачи от источника постоянного тока.

Определяется возможный диапазон регулирования потока энергии. Ограничивающими факторами тут являются допустимая неравномерность тока нагрузки и максимально возможная частота коммутации полупроводниковых ключей.

Диапазон регулирования

$$D \leq \frac{2\delta\tau_H}{T_H} = 2\delta\tau_H f, \quad (18)$$

где f – собственная частота цепи линия – конденсатор, Гц.

Для ориентировочного представления принято, что $\delta=0,05$; $\tau_H=0,03$ (это соответствует нагрузке с коэффициентом мощности 0,9). Тогда при $f=10^4$ можно допустить диапазон регулирования потока мощности до 10:1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Возможно аппаратное управление потоком электроэнергии путем передачи ее по линии импульсами тока, коммутируемыми полупроводниковыми ключами. При этом мощность потока обратно пропорциональна скважности импульсов.

Диапазон регулирования ограничен допустимой неравномерностью тока в нагрузке и динамическими свойствами силовых полупроводниковых ключей. При современных требованиях к качеству энергии и состоянию полупроводниковой техники возможный диапазон регулирования имеет значение порядка единиц.

[1] Ж.Куро «Современные технологии повышения качества электроэнергии при ее передаче и распределении». Новости электротехники, №№ 1 – 2 (31 – 32), 2005.

[2] И.С.Градштейн, И.М.Рыжик, Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений.- М.:Физматгиз,-1963,-1100с.