

16. Pat. № 2275800 RF. MPK A01K 59/00. Ustanovka dlja izvlechenija pergi iz pergovyh sotov / *D.E. Kashirin*. – Zajavl. 28.12.2004; opubl. 10.05.2006, Bjul. № 13. – 6 s.
17. *Kashirin D.E.* Tehnologija i ustrojstvo dlja izmel'chenija pergovyh sotov: dis. ... kand. tehn. nauk. – Rjazan', 2001. – 182 s.
18. *Kashirin D.E.* Jenergosberegajushhie tehnologii izvlechenija pergi iz sotov specializirovannymi sredstvami mehanizacii: dis. ... d-ra tehn. nauk. – Saransk, 2013. – 474 s.
19. *Kashirin D.E.* Jenergosberegajushhie tehnologii izvlechenija pergi iz sotov specializirovannymi sredstvami mehanizacii: avtoref. dis. ... d-ra tehn. nauk. – Saransk, 2013. – 37 s.
20. Pat. № 2360407 RF. MPK A01K 59/00. Sposob izvlechenija pergi iz sotov / *D.E. Kashirin*. – Zajavl. 02.04.2008; opubl. 10.07.2009, Bjul. № 19. – 5 s.
21. Pat. № 2412590 RF. MPK A01K 59/00. Ustanovka dlja izvlechenija i ochildki pergi iz sotov / *D.E. Kashirin*. – Zajavl. 07.12.2009; opubl. 27.02.2011, Bjul. № 6. – 9 s.
22. Pat. № 2171715 RF. MPK B02S 13/284. Izmel'chitel' pergovyh sotov / *V.F. Nekrashevich, V.I. Bronnikov, D.E. Kashirin*. – Zajavl. 05.07.1999; opubl. 10.08.2001, Bjul. № 22. – 4 s.
23. Pat. № 2367150 RF. MPK A01K 59/00. Ustanovka dlja izvlechenija pergi iz pergovyh sotov / *D.E. Kashirin*. – Zajavl. 19.05.2008; opubl. 20.09.2009, Bjul. № 26. – 7 s.
24. Issledovanie vlijanija vlazhnosti i temperatury na prochnostnye svojstva pergi / *D.N. Byshov, D.E. Kashirin, S.N. Gobelev* [i dr.] // Vestnik KrasGAU. – 2016. – № 1. – S. 97–101.
25. *Byshov N.V., Kashirin D.E.* Voprosy teorii mehanizirovannoj tehnologii izvlechenija pergi iz pergovyh sotov. – Rjazan': Izd-vo RGATU, 2012. – 113 s.



УДК 621.398

*Н.М. Попов, Д.М. Олин,
А.А. Кирилин*

СПОСОБ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ПО СЕЛЬСКИМ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫМ СЕТЯМ 0,38 кВ

*N.M. Popov, D.M. Olin,
A.A. Kirilin*

THE WAY OF SIGNALING ON RURAL DISTRIBUTIVE NETWORKS OF 0.38 kV

Попов Н.М. – д-р техн. наук, проф. каф. электроснабжения Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская обл., Костромской р-н, пос. Караваево. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Олин Д.М. – канд. техн. наук, доц., зав. каф. электроснабжения Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская обл., Костромской р-н, пос. Караваево. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Кирилин А.А. – ассист. каф. электроснабжения Костромской государственной сельскохозяйственной академии, Костромская обл., Костромской р-н, пос. Караваево. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Popov N.M. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Power Supply, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavaevo. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Olin D.M. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Power Supply, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavaevo. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Kirilin A.A. – Asst., Chair of Power Supply, Kostroma State Agricultural Academy, Kostroma Region, Kostroma District, Settlement Karavaevo. E-mail: aleksei.ka2014@yandex.ru

Выбор способа передачи сигналов является важным вопросом, решаемым при автоматизации рассредоточенных сельскохозяйственных процессов. Однако использование существующих способов часто затруднено связанными с ними капитальными вложениями, требованием высокой квалификации обслуживающего персонала, низкой электромагнитной совместимостью. Сельскохозяйственные предприятия нередко располагаются в местности со слаборазвитой коммуникационной сетью. Но можно передавать сигналы управления по силовой распределительной сети изменением фазного или линейного напряжения. Предлагается для этого установить в начале линии, питающей управляемые электроустановки, трансформатор вторичной обмоткой, включенной в рассечку нулевого провода, а на первичную обмотку подавать фазные или линейные напряжения. Наведенная ЭДС во вторичной обмотке изменит напряжение нулевой последовательности, вместе с этим сместится потенциал нулевой точки сети, в результате изменятся фазные напряжения. Линейные напряжения при этом останутся прежними, а значит, такой способ передачи сигналов управления не окажет влияния на работу трехфазных электроустановок. С практической точки зрения важно знать, как изменятся параметры режима работы сети при передаче сигналов. В статье описана разработанная математическая модель с использованием метода фазных координат и теории многополюсников при возможных вариантах включений первичной обмотки трансформатора. Приведен пример расчетов изменений напряжений при передаче сигналов в сети, состоящей из силового трансформатора и линии электропередачи, работающей с глухозаземленной нейтралью и комбинированным нулевым проводником.

Ключевые слова: передача сигналов, дистанционное управление, управление электропотребителями, телемеханика в сетях 0,38 кВ, силовые провода, распределительные сети, метод фазных координат.

The choice of the way of signaling is an important issue resolved in the automation of dispersed agricultural processes. However, the use of existing ways is often complicated by the related capital investments, the requirement of high qualifi-

cation service personnel, low electromagnetic compatibility. Agricultural enterprises quite often settle down in the districts with an underdeveloped communication network. But it is possible to transmit signals of management on a power distributive network of change of phase or linear tension. It is offered to establish for this purpose operated electric installations at the beginning of line feeding, the transformer with secondary winding included in crosscuts of a zero wire, and on primary winding to give phase or linear tension. The induced EMF in a secondary winding will change the tension of zero sequence, together with it the potential of a zero point of the network will be displaced, as a result phase tension will change. Linear tension thus will remain former, so such way of signaling of management will not have impact on work of three-phase electric installations. From practical point of view it is important to know how network operating mode parameters when signaling will change. In the study the developed mathematical model using the method of phase coordinates and theories of multiterminal networks is described at possible options of the transformer's primary winding inclusions. The example of calculations of tension changes when signaling in the network consisting of the power transformer and the power line working with earthed neutral and combined zero conductor is given.

Keywords: signaling, remote control, management of electroconsumers, telemechanics in networks of 0.38 kV, power wires, distributive networks, the method of phase coordinates.

Введение. Существует несколько способов передачи сигналов для управления электроустановками: по контрольным кабелям; по радиосвязи; высокочастотными сигналами по силовым проводам; изменением фазных или линейных напряжений. Но применение существующих способов часто ограничено спецификой сельскохозяйственного (СХ) производства [1]. Между тем существуют способы передачи сигналов по силовым распределительным сетям (СРС) изменением фазного или линейного напряжения.

Предпочтительнее передавать сигналы изменением только фазного напряжения, так как силовые СХ электроустановки, как правило, включаются на линейное напряжение. Разработан способ управления электропотребителями

по силовой сети [2], по которому в рассечку нулевого провода включается источник дополнительной ЭДС. Фазные напряжения у приемника при этом изменятся в соответствии с векторной

диаграммой (рис.1). Величины этих напряжений можно получить из формул теории симметричных составляющих [3].

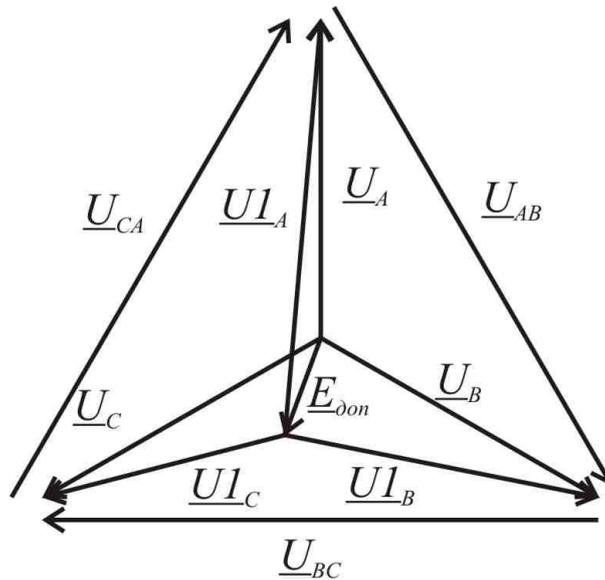


Рис. 1. Векторное представление изменения напряжения при включении источника ЭДС в разрыв нулевого провода

Из векторной диаграммы следует, что включение дополнительного источника ЭДС в нулевой провод не приводит к изменению линейных напряжений, поэтому не окажет влияния на работу трехфазных электроустановок.

По ГОСТ 32144-2013 [4] устанавливается отклонение напряжения в сетях 0,38 кВ $\pm 10\%$ от номинального напряжения. Тогда максимальное значение ЭДС, включенной в разрыв нулевого провода по допустимому отклонению напряжения, не должно превышать

$$E_{дон} = U_{A1} \cdot 0,1; E_{дон} = 220 \cdot 0,1 = 22 \text{ В.}$$

В качестве источника дополнительной ЭДС можно использовать однофазный двухобмоточный трансформатор: с первичной обмоткой, включенной на фазное или линейное напряжение, а вторичной – в разрыв нулевого провода, со встречным или согласным соединением обмоток (рис.2).

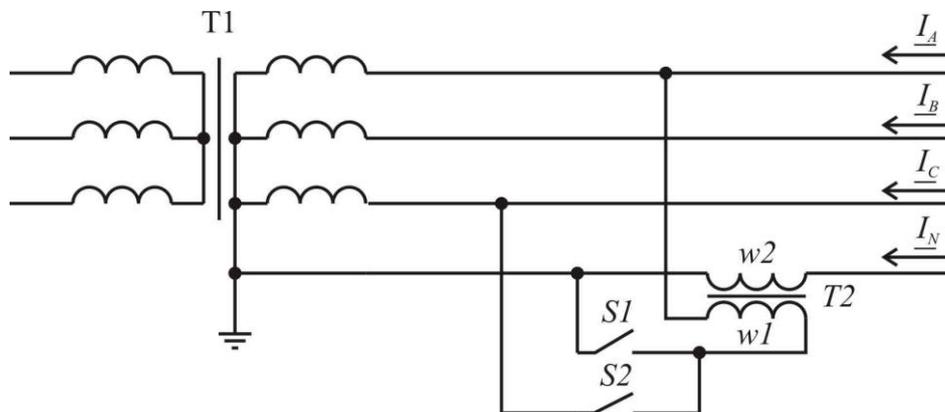


Рис. 2. Включение обмоток трансформатора для передачи сигналов

Рассматриваемая схема (рис. 2) имеет трансформаторные связи, поэтому применение теории симметричных составляющих для расчетов затруднительно. В последнее время для расчета электрических сетей применяется метод фазных координат [5], преимущество данного метода заключается в возможности учитывать трансформаторные связи, емкостные проводимости, различные не симметрии при их множественном появлении в расчетной схеме.

Цель исследования. Составить математическую модель трансформатора, включенного

по схеме, изображенной на рисунке 2, с использованием метода фазных координат; рассмотреть изменения напряжения при включении источника ЭДС нулевой последовательности.

Результаты и их обсуждение. Суть метода фазных координат заключается в составлении математических моделей элементов схемы в виде многополюсников с параметрами в Y, Z, H или других формах. Для расчета параметров модели трансформатора, включенного по схеме (см. рис. 2) составлена схема замещения (рис. 3).

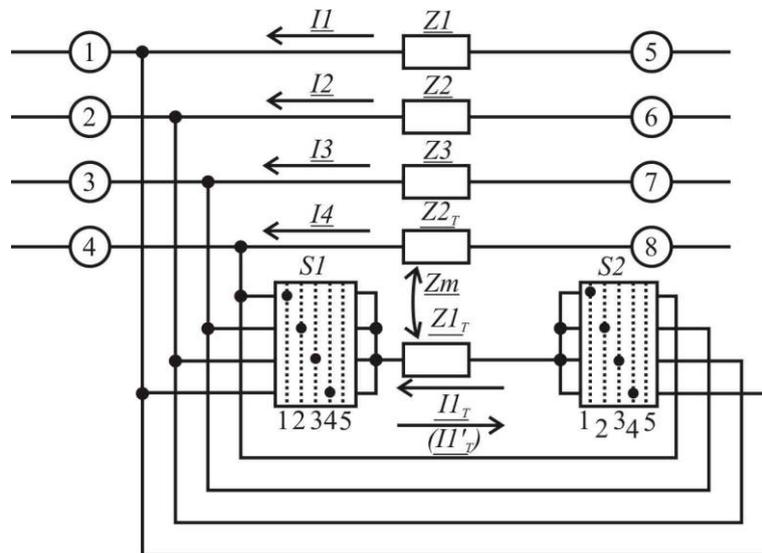


Рис. 3. Схема замещения

На рисунке 3 I_{1T} – направление тока при встречном включении обмоток трансформатора, I'_{1T} – при согласном.

Параметры элементов схемы в H форме рассчитываются с использованием матриц со-

$$[Zb] = \begin{bmatrix} \underline{Z1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \underline{Z2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z3} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{Z2_T} & \underline{Zm} \\ 0 & 0 & 0 & \underline{Zm} & \underline{Z1_T} \end{bmatrix},$$

где $\underline{Z1}$ – сопротивление провода, соединяющего узлы 1 и 5, $\underline{Z1} = 0$; $\underline{Z2}$ – сопротивление провода, соединяющего узлы 2 и 6, $\underline{Z2} = 0$; $\underline{Z3}$ – сопротивление провода, соединяющего узлы 3 и 4, $\underline{Z3} = 0$; $\underline{Z2_T}$ – сопротивление вторичной обмотки трансформатора; $\underline{Z1_T}$ – сопротивление первичной обмотки трансформатора; \underline{Zm} – сопротив-

лений и инцеденций. На составление матрицы сопротивлений положение переключателей S1 и S2 не влияет, тогда

ление магнитной связи обмоток трансформатора.

Сопротивления обмоток и магнитной связи трансформатора можно найти по известным формулам, рассчитав вначале активное Rt , реактивное Xt и полное Zt сопротивления трансформатора:

$$Z_t = \frac{u_{кз\%} \cdot U_H^2}{100 \cdot S_H} ; R_t = \frac{dP_{кз} \cdot U_H^2}{S_H^2} ; X_t = \sqrt{Z_t^2 - R_t^2} ; \underline{Z}_t = R_t + j \cdot X_t ,$$

где $u_{кз\%}$ – напряжение короткого замыкания, в процентах; $dP_{кз}$ – потери мощности при коротком замыкании; U_H – номинальное напряжение трансформатора; S_H – номинальная мощность трансформатора.

Далее найдем проводимости:

$$Y_t = \frac{i_{xx\%} \cdot S_H}{100 \cdot U_H^2} ; G_t = \frac{dP_{xx}}{U_H^2} ; B_t = \sqrt{Y_t^2 - G_t^2} ; \underline{Y}_t = G_t - j \cdot B_t .$$

Сопровитления обмоток рассчитываются по формулам [4]:

$$\underline{Z}_{t1} = \frac{1}{(1 - K_c^2) \cdot \left(\frac{1}{\underline{Z}_t} + \frac{Y_t}{2} \right)} ; \underline{Z}_{t2} = \frac{1}{(1 - K_c^2) \cdot \left(\frac{1}{\underline{Z}_t} + \frac{Y_t}{2} \right) \cdot \underline{k}_t^2} ,$$

где \underline{k}_t – коэффициент трансформации; \underline{K}_c – коэффициент связи.

$$\underline{k}_t = \frac{U_1}{U_2} ; \underline{K}_c = \frac{2}{2 + \underline{Z}_t \cdot \underline{Y}_t} .$$

Задавшись направлениями тока в ветвях, составим матрицу инцидентий по известным правилам [6, 7]. Для схемы замещения (рис. 3) составлено 13 матриц инцидентий размерностью 8×5 , в общем виде которые можно представить

$$[M] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & 1 & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 & 1 & x \\ -1 & 0 & 0 & 0 & x \\ 0 & -1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 0 & -1 & 0 & x \\ 0 & 0 & 0 & -1 & x \end{bmatrix} . \quad (1)$$

В полученных матрицах первые 4 столбца одинаковы, а пятый $[M_5]$ столбец изменяется в зависимости от положения переключателей S1,

S2. При положении переключателей S1=5 и S2=5 пятый столбец $[M_5]$ матрицы (1) и матрица инцидентий $[M_0]$ примут вид

$$[M_{0_5}] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} ; [M_0] = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} .$$

При положении переключателей S1=4 и S2=1 пятый столбец $[M_5]$ матрицы (4) примет вид $[M_{1_5}]$, при S1=1 и S2=4 – $[M_{2_5}]$, при S1=3 и S2=1 – $[M_{3_5}]$, при S1=1 и S2=3 – $[M_{4_5}]$, при S1=2 и S2=1 – $[M_{5_5}]$, при S1=1 и S2=2 – $[M_{6_5}]$, при S1=4

и S2=2 – $[M_{7_5}]$, при S1=2 и S2=4 – $[M_{8_5}]$, при S1=3 и S2=2 – $[M_{9_5}]$, при S1=2 и S2=3 – $[M_{10_5}]$, при S1=4 и S2=3 – $[M_{11_5}]$, при S1=3 и S2=4 – $[M_{12_5}]$.

$$\begin{aligned}
 [M1_5] &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M2_5] = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M3_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M4_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M5_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \\
 [M6_5] &= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M7_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M8_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M9_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M10_5] = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \\
 [M11_5] &= \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; [M12_5] = \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.
 \end{aligned}$$

Зная матрицы сопротивлений и инценденций, по известной формуле можно рассчитать матрицу проводимостей [Y]

$$[Y] = [M] \cdot [Zb]^{-1} \cdot [M]^T.$$

Рассмотрим изменения напряжений в СРС, работающих без нагрузки, при включении двухобмоточного трансформатора по схеме (рис. 2). Для расчетов составлена схема (рис. 4).

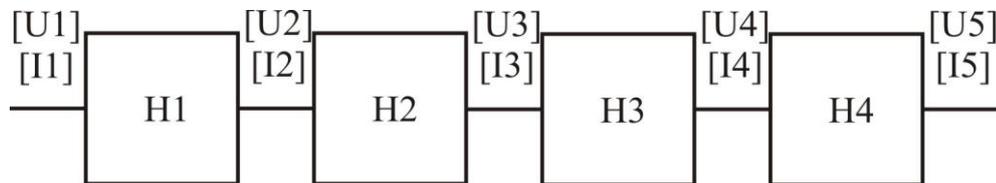


Рис. 4. Расчетная схема

На рисунке 4: H1 – математическая модель трансформатора, включенного по схеме передачи сигналов (рис. 2); H2, H4 – математическая модель заземления; H3 – математическая модель линии электропередачи.

Элементы в расчетной схеме соединены каскадно, тогда в начале необходимо найти параметры многополюсников в H форме, затем найти эквивалентный многополюсник схемы,

далее рассчитать неизвестные токи и напряжения по уравнениям:

$$[U_n] = [A] \cdot [U_k] + [B] \cdot [I_k]; \quad (2)$$

$$[I_n] = [C] \cdot [U_k] + [D] \cdot [I_k]. \quad (3)$$

Модель силового трансформатора Н1 с 0-й группой соединения обмоток описана в [6], модель линии электропередачи в [7].

Заземление представляет собой проводимость между нулевым проводом и землей (рис. 5).

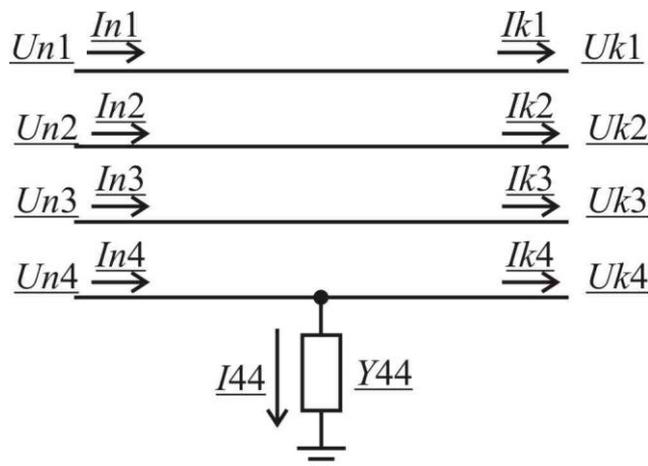


Рис. 5. Схема замещения модели заземления

В соответствии с рисунком 5: $U_{n1} = U_{k1}$; $U_{n2} = U_{k2}$; $U_{n3} = U_{k3}$; $U_{n4} = U_{k4}$, участка отсутствуют, что можно записать в развернутом обобщенном виде

$$\begin{aligned} U_{n1} &= 1 \cdot U_{k1} + 0 \cdot U_{k2} + 0 \cdot U_{k3} + 0 \cdot U_{k4} + 0 \cdot I_{k1} + 0 \cdot I_{k2} + 0 \cdot I_{k3} + 0 \cdot I_{k4}; \\ U_{n2} &= 0 \cdot U_{k1} + 1 \cdot U_{k2} + 0 \cdot U_{k3} + 0 \cdot U_{k4} + 0 \cdot I_{k1} + 0 \cdot I_{k2} + 0 \cdot I_{k3} + 0 \cdot I_{k4}; \\ U_{n3} &= 0 \cdot U_{k1} + 0 \cdot U_{k2} + 1 \cdot U_{k3} + 0 \cdot U_{k4} + 0 \cdot I_{k1} + 0 \cdot I_{k2} + 0 \cdot I_{k3} + 0 \cdot I_{k4}; \\ U_{n4} &= 0 \cdot U_{k1} + 0 \cdot U_{k2} + 0 \cdot U_{k3} + 1 \cdot U_{k4} + 0 \cdot I_{k1} + 0 \cdot I_{k2} + 0 \cdot I_{k3} + 0 \cdot I_{k4}. \end{aligned}$$

Полученные уравнения перепишем в матричном виде

$$\begin{bmatrix} U_{n1} \\ U_{n2} \\ U_{n3} \\ U_{n4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_{k1} \\ U_{k2} \\ U_{k3} \\ U_{k4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_{k1} \\ I_{k2} \\ I_{k3} \\ I_{k4} \end{bmatrix},$$

тогда получаем матричное управление

$$[U_n] = [E] \cdot [U_k] + [0] \cdot [I_k],$$

где $[E]$ – единичная матрица, $[0]$ – нулевая матрица.

Сравнивая полученное матричное уравнение с уравнением (2), получаем параметры многополюсника Н2 и Н4

$$[A] = [E]; [B] = [0].$$

Нулевой проводник соединяется с землей через проводимость Y_{44} , по которой под дей-

ствием напряжения нулевой последовательности протекает ток I_{44} , что можно записать относительно напряжения U_{k4}

$$I_{44} = U_{k4} \cdot Y_{44}. \quad (4)$$

По первому закону Кирхгофа с учетом принятых направлений токи в начале линии можно определить

$$\underline{In1} = \underline{Ik1} ; \underline{In2} = \underline{Ik2} ; \underline{In3} = \underline{Ik3} ; \underline{In4} = \underline{I44} + \underline{Ik4} .$$

Перепишем эти уравнения в развернутом виде и подставим значения токов из (4):

$$\underline{In1} = 0 \cdot \underline{Uk1} + 0 \cdot \underline{Uk2} + 0 \cdot \underline{Uk3} + 0 \cdot \underline{Uk4} + 1 \cdot \underline{In1} + 0 \cdot \underline{In2} + 0 \cdot \underline{In3} + 0 \cdot \underline{In4} ;$$

$$\underline{In2} = 0 \cdot \underline{Uk1} + 0 \cdot \underline{Uk2} + 0 \cdot \underline{Uk3} + 0 \cdot \underline{Uk4} + 0 \cdot \underline{In1} + 1 \cdot \underline{In2} + 0 \cdot \underline{In3} + 0 \cdot \underline{In4} ;$$

$$\underline{In3} = 0 \cdot \underline{Uk1} + 0 \cdot \underline{Uk2} + 0 \cdot \underline{Uk3} + 0 \cdot \underline{Uk4} + 0 \cdot \underline{In1} + 0 \cdot \underline{In2} + 1 \cdot \underline{In3} + 0 \cdot \underline{In4} ;$$

$$\underline{In4} = 0 \cdot \underline{Uk1} + 0 \cdot \underline{Uk2} + 0 \cdot \underline{Uk3} + \underline{Y44} \cdot \underline{Uk4} + 0 \cdot \underline{In1} + 0 \cdot \underline{In2} + 0 \cdot \underline{In3} + 1 \cdot \underline{In4} .$$

После преобразования полученных уравнений

$$\begin{bmatrix} \underline{In1} \\ \underline{In2} \\ \underline{In3} \\ \underline{In4} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{Y44} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{Uk1} \\ \underline{Uk2} \\ \underline{Uk3} \\ \underline{Uk4} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{Ik1} \\ \underline{Ik2} \\ \underline{Ik3} \\ \underline{Ik4} \end{bmatrix} ,$$

в матричном виде

$$[In] = [Y] \cdot [Uk] + [E] \cdot [Ik] .$$

Сравнивая полученное матричное уравнение с уравнением (3), получаем параметры многополюсников H2 и H4

$$[C] = [Y] ; [D] = [E] .$$

Параметры многополюсника H2, зная матрицу проводимостей [Y], в [H] форме можно рассчитать по известным уравнениям:

$$[A] = -[Y2.1]^{-1} \cdot [Y2.2] ; [B] = -[Y2.1]^{-1} ;$$

$$[C] = [Y1.2] - [Y1.1] \cdot [Y2.1]^{-1} \cdot [Y2.2] ; [D] = -[Y1.1] \cdot [Y2.1]^{-1} .$$

Разбив для этого матрицу [Y] на блоки, так чтобы одна подматрица [Y1.1] связывала токи и напряжения на входе, другая [Y2.2] токи и напряжения на выходе, третья [Y1.2] ток на входе и напряжения на выходе, четвертая [Y2.1] ток на выходе и напряжения на входе многополюсника.

$$[Y] = \begin{bmatrix} [Y1.1] & [Y1.2] \\ [Y2.1] & [Y2.2] \end{bmatrix} .$$

С использованием параметров многополюсников всех элементов эквивалентный многополюсник схемы рассчитан по формуле

$$[H\text{э}] = [H1] \cdot [H2] \cdot [H3] \cdot [H4] .$$

Подав в начало расчетной схемы номинальные напряжения $\underline{U}_A = 220 \text{ В}$, $\underline{U}_B = 220a^2 \text{ В}$, $\underline{U}_C = 220a \text{ В}$, где $a = e^{-j120^\circ}$, получим

$$[U1] = \begin{bmatrix} \underline{U}_A \\ \underline{U}_B \\ \underline{U}_C \\ 0 \end{bmatrix} ;$$

по уравнениям (2) и (3) рассчитаны действующие значения фазных U_A, U_B, U_C , линейных U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} напряжений и напряжения U_{A1} – прямой, U_{A2} – обратной, U_{A0} – нулевой последовательности, представленные в таблице для разных матриц инценденций.

Результаты расчетов

Матрица инценденций	Напряжения в конце линии								
	$U_A, \text{ В}$	$U_B, \text{ В}$	$U_C, \text{ В}$	$U_{AB}, \text{ В}$	$U_{BC}, \text{ В}$	$U_{CA}, \text{ В}$	$U_{A1}, \text{ В}$	$U_{A2}, \text{ В}$	$U_{A0}, \text{ В}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M0	220	220	220	381,1	381,1	381,1	220	0	0
M1	226,9	216,7	216,6	381	381,1	381,1	220	0	6,9
M2	213,1	223,5	223,5	381	381,1	381,1	220	0	6,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M3	216,6	226,9	216,7	381,1	381	381,1	220	0	6,9
M4	223,5	213,1	223,5	381,1	381	381,1	220	0	6,9
M5	216,7	216,6	226,9	381,1	381,1	381	220	0	6,9
M6	223,5	223,5	213,1	381,1	381,1	381	220	0	6,9
M7	230,4	209,7	220,3	381	381	381,1	220	0	11,95
M8	209,7	230,4	220,4	381	381	381,1	220	0	11,95
M9	220,3	230,4	209,7	381,1	381	381	220	0	11,95
M10	220,4	209,7	230,4	381,1	381	381	220	0	11,95
M11	209,7	220,3	230,4	381	381,1	381	220	0	11,95
M12	230,4	220,4	209,7	381	381,1	381	220	0	11,95

Из таблицы видно, что при включении вторичной обмотки трансформатора в разрыв нулевого провода, а первичной на фазное или линейное напряжение в сети появляется напряжение нулевой последовательности, равное напряжению вторичной обмотки трансформатора.

Выводы

1. Разработан способ передачи сигналов по сельским распределительным сетям 0,38 кВ, по которому сигналы передаются изменением фазного напряжения.

2. Реализовать данный способ можно, включив трансформатор вторичной обмоткой в расщелку нулевого провода, а первичной на фазное или линейное напряжение.

3. Разработана математическая модель с применением метода фазных координат, описывающая включение трансформатора по схеме для передачи сигналов по нулевому проводу.

4. Теоретически доказано, что при передаче сигналов по нулевому проводу предложенным способом изменяются только фазные напряжения при неизменных линейных.

Литература

1. Кирилин А.А., Олин Д.М., Попов Н.М. Управление электропотребителями по силовым цепям // Актуальные проблемы энергетики АПК: мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов, 2014. – С. 154–157.
2. Пат. № 2601875 Российская Федерация, МПК H02J13/00 Способ управления электропотребителями по силовой сети / Попов

- Н.М., Кирилин А.А., Олин Д.М. – Заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», № 2015107405; заявл. 03.03.2015, опубл. 17.10.2016, Бюл. № 31.
3. Основы теории цепей: учеб. для вузов / Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил [и др.]. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 528 с.
 4. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введен 2014–07–01. – М.: Стандартинформ, 2014.
 5. Мельников Н.А. Матричный метод анализа электрических цепей. – М.: Госэнергоиздат, 1972. – 231 с.
 6. Солдатов В.А., Попов Н.М. Моделирование трансформаторов распределительных сетей в фазных координатах. – Кострома, 2003. – 53 с. – Деп. в ВИНТИ 08.07.2003, № 1308-B2003.
 7. Солдатов В.А., Попов Н.М. Моделирование параметров К-фазных линий электропередачи в фазных координатах. – Кострома, 2003. – 27 с. – Деп. в ВИНТИ 08.07.2003, № 1306-B2003.

Literatura

1. Kirilin A.A., Olin D.M., Popov N.M. Upravlenie jelektropotrebiteľjami po silovym cepjam // Aktual'nye problemy jenergetiki APK: mat-ly V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – Saratov, 2014. – S. 154–157.

2. Pat. № 2601875 Rossijskaja Federacija, MPK H02J13/00 Sposob upravlenija jelektropotrebiteľjami po silovoj seti / Popov N.M., Kirilin A.A., Olin D.M. – Zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VPO «Kostromskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija», № 2015107405; zajavl. 03.03.2015, opubl. 17.10.2016, Bjul. № 31.
3. Osnovy teorii cepej: ucheb. dlja vuzov / G.V. Zeveke, P.A. Ionkin, A.V. Netushil [i dr.]. – 5-e izd., pererab. – M.: Jenergoatomizdat, 1989. – 528 s.
4. GOST 32144-2013. Jelektricheskaja jenergija. Sovmestimost' tehničeskikh sredstv jelektromagnitnaja. Normy kachestva jelektricheskoi jenergii v sistemah jelektrosnabzhenija obshhego naznachenija. Vveden 2014–07–01. – M.: Standartinform, 2014.
5. Mel'nikov N.A. Matrichnyj metod analiza jelektricheskikh cepej. – M.: Gosjenergoizdat, 1972. – 231 s.
6. Soldatov V.A., Popov N.M. Modelirovanie transformatorov raspreditel'nyh setej v faznyh koordinatah. – Kostroma, 2003. – 53 s. – Dep. v VINITI 08.07.2003, № 1308-V2003.
7. Soldatov V.A., Popov N.M. Modelirovanie parametrov K-faznyh linij jelektroperedachi v faznyh koordinatah. – Kostroma, 2003. – 27 s. – Dep. v VINITI 08.07.2003, № 1306-V2003.



УДК 631.331.62-66

И.О. Богульский, Н.А. Богульская

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ КУЛАЧКА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕЙ ОПТИМАЛЬНУЮ РАБОТУ ВЫСЕВАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ВИБРАЦИОННОГО ТИПА

I.O. Bogulsky, N.A. Bogulskaya

MODELLING OF THE FORM OF THE CAM ENSURING OPTIMUM FUNCTIONING OF THE SOWING DEVICE OF VIBRATION TYPE

Богульский И.О. – д-р физ.-мат. наук, проф. каф. высшей математики и компьютерного моделирования Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: bogul.io@ya.ru

Bogulsky I.O. – Dr. Phys.-Math. Sci., Prof., Chair of Higher Mathematics and Computer Modeling, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: bogul.io@ya.ru

Богульская Н.А. – канд. физ.-мат. наук, доц. каф. прикладной математики и компьютерной безопасности, НУЛ информационной безопасности Института космических и информационных технологий Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: bogul.io@ya.ru

Bogulskaya N.A. – Cand. Phys.-Math. Sci., Assoc. Prof., Chair of Applied Mathematics and Computer Safety, NUL Information Security, Institute of Space and Information Technologies, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: bogul.io@ya.ru

При высыпании гранул появляются эффекты, вызванные дискретностью среды, ее неоднородностью, нелинейным характером взаимодействия гранул, их переупаковкой, возникновением зон разрыхления и уплотнения. Ранее были получены результаты применения имитационного моделирования для исследования поведения гранулированной среды

в вибрирующих сосудах. Подход оказался достаточно эффективным и позволил в дальнейшем решить ряд прикладных задач по совершенствованию конструкции универсального высевающего устройства, основанного на вибрации лотка с семенами. Основным критерием эффективности решения сформулированных задач является равномерность вы-