

УДК 621.313

Прищепов М.А., Зеленкевич А.И., Збродыга В.М.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, Республика Беларусь

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСФОРМАТОРА «ЗВЕЗДА-ДВОЙНОЙ ЗИГЗАГ С НУЛЕВЫМ ПРОВОДОМ»

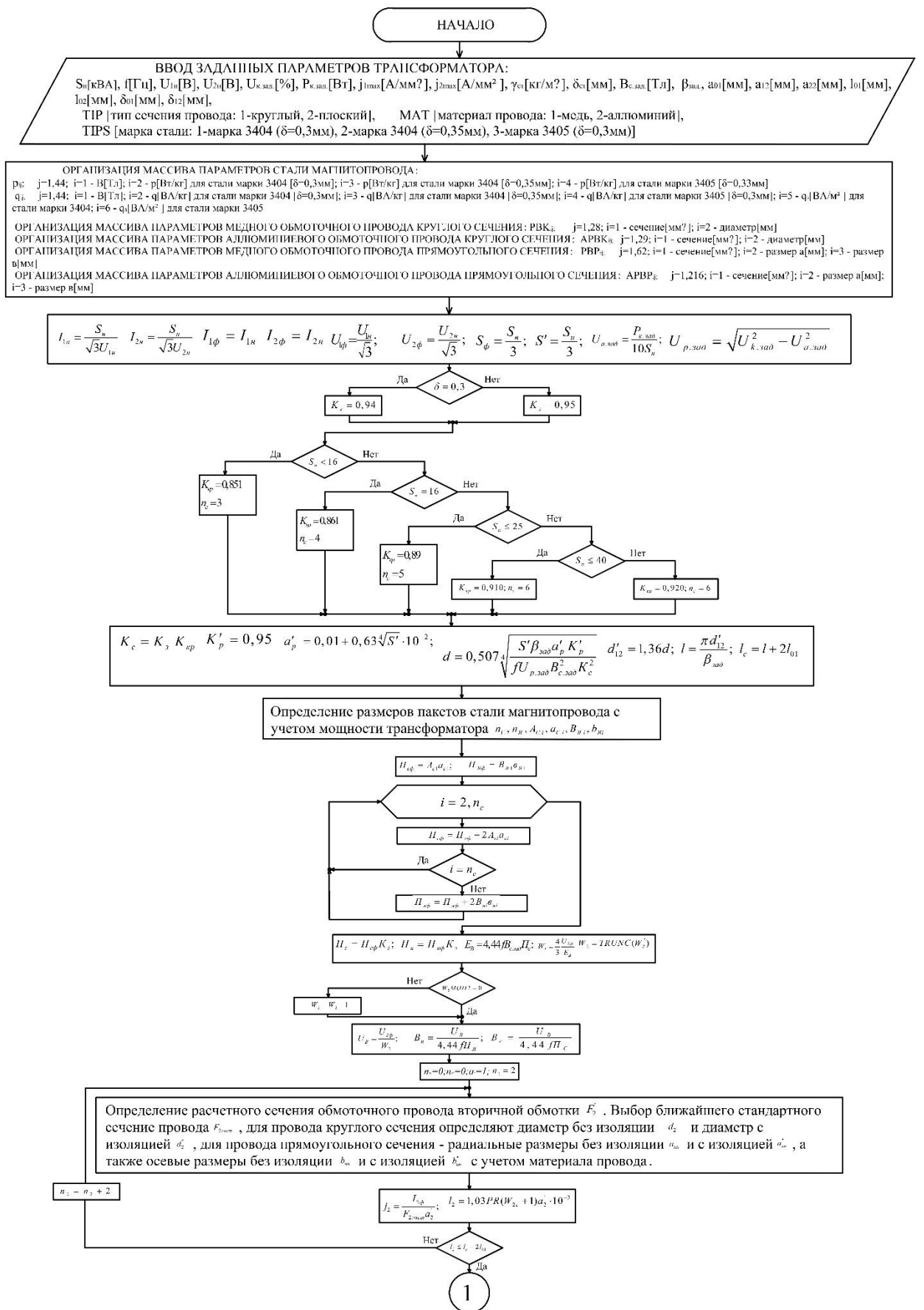
В работе представлен алгоритм расчета конструктивно-режимных параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

Ключевые слова: трансформатор, алгоритм расчета, конструктивное исполнение.

Трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [1] имеет нулевую группу соединений обмоток, обеспечивает синусоидальность кривой тока нагрузки и напряжения и обладает хорошими симметрирующими свойствами [2-5]. При использовании трансформатора в качестве силового его целесообразно выполнить с масляным охлаждением, так как это уменьшает габариты и повышает надежность его работы [6-8].

Для получения наиболее экономичных трансформаторов требует рассмотрение большого числа вариантов расчета, отличающихся соотношением основных размеров, а также параметрами холостого хода и короткого замыкания.

Авторами разработана методика расчета конструктивно-режимных параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» [9]. На основании данной методики предлагается алгоритм расчета конструктивно-режимных параметров трехфазного силового трансформатора, представленный на рисунке, который предусматривает расчет параметров трансформаторов различной мощности и напряжения с учетом выбора типа и материала применяемого обмоточного провода, марки и толщины пластин электротехнической стали магнитопровода, соотношения основных размеров в широком диапазоне значений плотности токов в обмотках и магнитной индукции в элементах магнитопровода. При расчете предусмотрена возможность использования медных и алюминиевых проводов круглого и прямоугольного сечения, выбор сечения обмоточного провода первичной и вторичной обмотки из заложенного в нее массива стандартных значений. Алгоритм позволяет определять основные конструктивные размеры активной части трансформатора, расход обмоточного провода и электротехнической стали, производить расчет параметров холостого хода и короткого замыкания, а также проверочный тепловой расчет трансформатора.



1

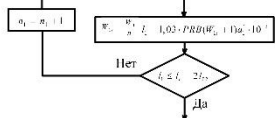
$$\delta_{\text{вн}} = 0,00024; \quad \delta = PRRR \cdot n_1 \cdot 10^{-3} + \delta_{\text{вн}}(n_1 - 1) + 0,01 \cdot n_1; \quad D_2 = d - 2a_0; \quad D_2' = D_2 + 2a_1$$

$$W_1 = W_{\text{вн}} \cdot n_1; \quad W_2 = W_{\text{вн}} \cdot n_2; \quad W_3 = W_{\text{вн}} \cdot n_3; \quad W_4 = W_{\text{вн}} \cdot n_4; \quad W_5 = W_{\text{вн}} \cdot n_5; \quad W_6 = W_{\text{вн}} \cdot n_6; \quad W_7 = W_{\text{вн}} \cdot n_7; \quad W_8 = W_{\text{вн}} \cdot n_8; \quad W_9 = W_{\text{вн}} \cdot n_9; \quad W_{10} = W_{\text{вн}} \cdot n_{10}$$

$$W_1 = INT(W_1) \quad a_1' = 1$$

Определение расчетного сечения обмоточного провода вторичной обмотки F_1' . Выбор ближайшего стандартного сечения провода $F_{\text{ном}}$, для провода круглого сечения определяют диаметр без изоляции d_1 и диаметр с изоляцией d' , для провода прямоугольного сечения - радиальные размеры без изоляции a_1 и с изоляцией a_1' , а также осевые размеры без изоляции b_1 и с изоляцией b_1' с учетом материала провода.

$$j = \frac{I_{\text{вн}}}{K_{\text{ном}} R}; \quad W_{\text{вн}} = \frac{I_{\text{вн}} - 2I_0}{1,03 \cdot PRRR \cdot a_1' \cdot 10^{-3}}; \quad W_{\text{вн}} = INT(W_{\text{вн}}); \quad n_1' = \frac{W_{\text{вн}}}{W_{\text{вн}}'} \cdot n_1 - INT(n_1) + 1$$



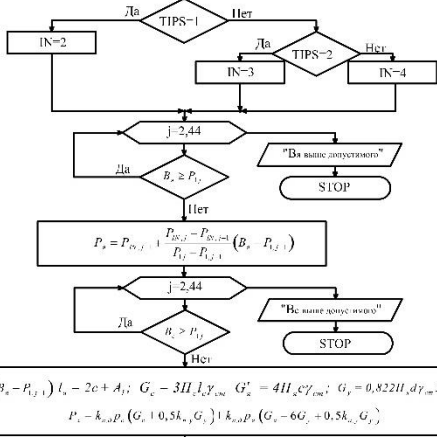
$$a_3 = PRRR \cdot n_1 \cdot 10^{-3} + \delta_{\text{вн}}(n_1 - 1) + 0,01 \cdot n_1; \quad D_1' = D_2' - 2a_{22}; \quad D_1' = D_1' + 2a_3; \quad \delta_{\text{вн}} = 0,00024; \quad d_{12} = d + 2a_0 + 2a_1 + a_{13}; \quad D_{\text{вн}} = \frac{D_1' + D_1'}{2}; \quad D_{\text{вн}} = \frac{D_2 + D_2'}{2}$$

$$\beta = \frac{\pi d_{12}}{l_2}; \quad C = D_1' + a_{22}; \quad G_1 = 3\pi D_{\text{вн}} W_1 F_{\text{ном}} a_1' \cdot 10^{-6}; \quad G_2 = 3\pi D_{\text{вн}} W_2 F_{\text{ном}} a_2' \cdot 10^{-6}; \quad P_{\text{вн1}} = K_{\text{вн}} j_1^2 G_1; \quad P_{\text{вн2}} = K_{\text{вн}} j_2^2 G_2; \quad K_{\text{вн}} = 1 - \sigma$$

$$I_{\text{вн}} = \frac{l_1 + l_2}{2}; \quad \sigma = \frac{a_{12} + a_1 + a_2}{\pi l_{\text{вн}}}$$

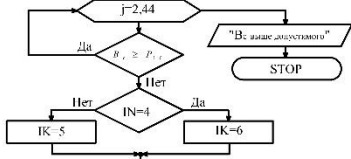
Определение коэффициентов первичной β и вторичной β_1 обмотки для провода круглого и прямоугольного сечения. Определение коэффициентов добавочных потерь первичной k_1 и вторичной k_2 обмотки для провода круглого и прямоугольного сечения.

$$k = 0,015; \quad P_{\beta} = 10 k S_{\text{вн}}; \quad P_{\beta} = K_{\text{вн}} P_{\text{вн1}} + K_{\text{вн}} P_{\text{вн2}} + P_{\beta}; \quad a_1 = a_1 - \frac{a_1 + a_2}{3}; \quad U_{\beta} = \frac{U_1}{105}; \quad U_1 = \sqrt{\frac{U_1^2 + U_2^2}{2}}; \quad U_{\beta} = \frac{7,9 f N \beta \mu_0 k}{100^2}$$

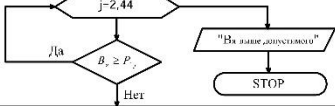


$$P_2 = P_{\text{вн},j} + \frac{P_{\text{вн},j} - P_{\text{вн},j-1}}{P_j - P_{j-1}} (B_v - P_{j-1}); \quad l_2 = 2c + A_2; \quad G_2 = 3H_2 l_2 y_{\text{вн}}; \quad G_2' = 4H_2 c y_{\text{вн}}; \quad G_2 = 0,822H_2 d y_{\text{вн}}; \quad G_2 = G_2' - G_2''$$

$$P_1 = k_{\text{вн}} P_{\beta} (G_2 + 0,5 k_{\text{вн}} G_2) + k_{\text{вн}} P_{\beta} (G_2 - 6G_2' + 0,5 k_{\text{вн}} G_2')$$



$$G_3 = \left(P_{\text{вн},j} + \frac{P_{\text{вн},j} - P_{\text{вн},j-1}}{P_j - P_{j-1}} (B_v - P_{j-1}) \right)^2 \cdot 10^{-4}; \quad G_3 = P_{\text{вн},j} + \frac{P_{\text{вн},j} - P_{\text{вн},j-1}}{P_j - P_{j-1}} (B_v - P_{j-1})$$



$$P_3 = P_{\text{вн},j} + \frac{P_{\text{вн},j} - P_{\text{вн},j-1}}{P_j - P_{j-1}} (B_v - P_{j-1}); \quad k_{\text{вн},\beta} = 1,18; \quad k_{\text{вн},\beta} = 1,01; \quad k_{\text{вн},\beta} = 58,5; \quad k_{\text{вн},\beta} = 1,2; \quad Q_2 = \left[k_{\text{вн},\beta} k_{\text{вн},\beta} \left(R_1 G_2 - G_2 G_2' - 4G_2 G_2' + \frac{G_2 + G_2'}{2} k_{\text{вн},\beta} k_{\text{вн},\beta} G_2 \right) + \Sigma g_{\text{вн}} P_3 \right] k_{\text{вн},\beta} k_{\text{вн},\beta} k_{\text{вн},\beta}$$

$$Q_3 = 6g_3 H_2 c \beta; \quad I_{\text{вн}} = \frac{P_{\text{вн}}}{3U_{\text{вн}}}; \quad I_{\text{вн}} = \frac{Q_3}{3U_{\text{вн}}}; \quad I_{\text{вн}} = \sqrt{I_{\text{вн}}^2 + I_{\text{вн}}^2}; \quad I_{\text{вн}} \% = \frac{I_{\text{вн}}}{I_{\text{вн}}} \cdot 100; \quad KFD = \left(1 - \frac{P_{\text{вн}} + P_{\text{вн}}}{S_{\text{вн}} + P_{\text{вн}} + P_{\text{вн}}} \right) \cdot 100$$

Определение поверхности охлаждения первичной и вторичной обмотки $S_{\text{вн}}; S_{\text{вн}}'$, удельного теплового потока с поверхности первичной и вторичной обмотки $q_{\text{вн}}; q_{\text{вн}}'$, внутреннего перепада температуры первичной и вторичной обмотки $\theta_{\text{вн},\text{вн}}; \theta_{\text{вн},\text{вн}}'$, перепада температуры на поверхности первичной и вторичной обмоток $\theta_{\text{вн},\text{вн}}; \theta_{\text{вн},\text{вн}}'$, полного среднего перепада температуры обмотки низкого и высокого напряжения к маслу $\theta_{\text{вн},\text{вн}}; \theta_{\text{вн},\text{вн}}'$.

2

Определение ширины $B_{акт}$ и длины A бака, высоты активной части $H_{акт}$, глубины бака $H_{б}$, периметр гладкого бака прямоугольного или овального сечения в плане $P_{б}$.

Определение площади $P_{б}$ боковой поверхности с учетом конструкции бака.
 Определение общей площади поверхностей теплоотдачи конвекцией и излучением $P_{к}, P_{л}$ с мощности трансформатора и конструкции бака.

Определение среднего превышения средней температуры стенки бака над температурой окружающего воздуха $\theta_{с,с}$, среднее превышение температуры масла вблизи стенки над температурой внутренней поверхности стенки бака $\theta_{с,в}$, превышение температуры масла в верхних слоях над температурой окружающего воздуха $\theta_{с,в,в}$ с учетом конструкции бака.

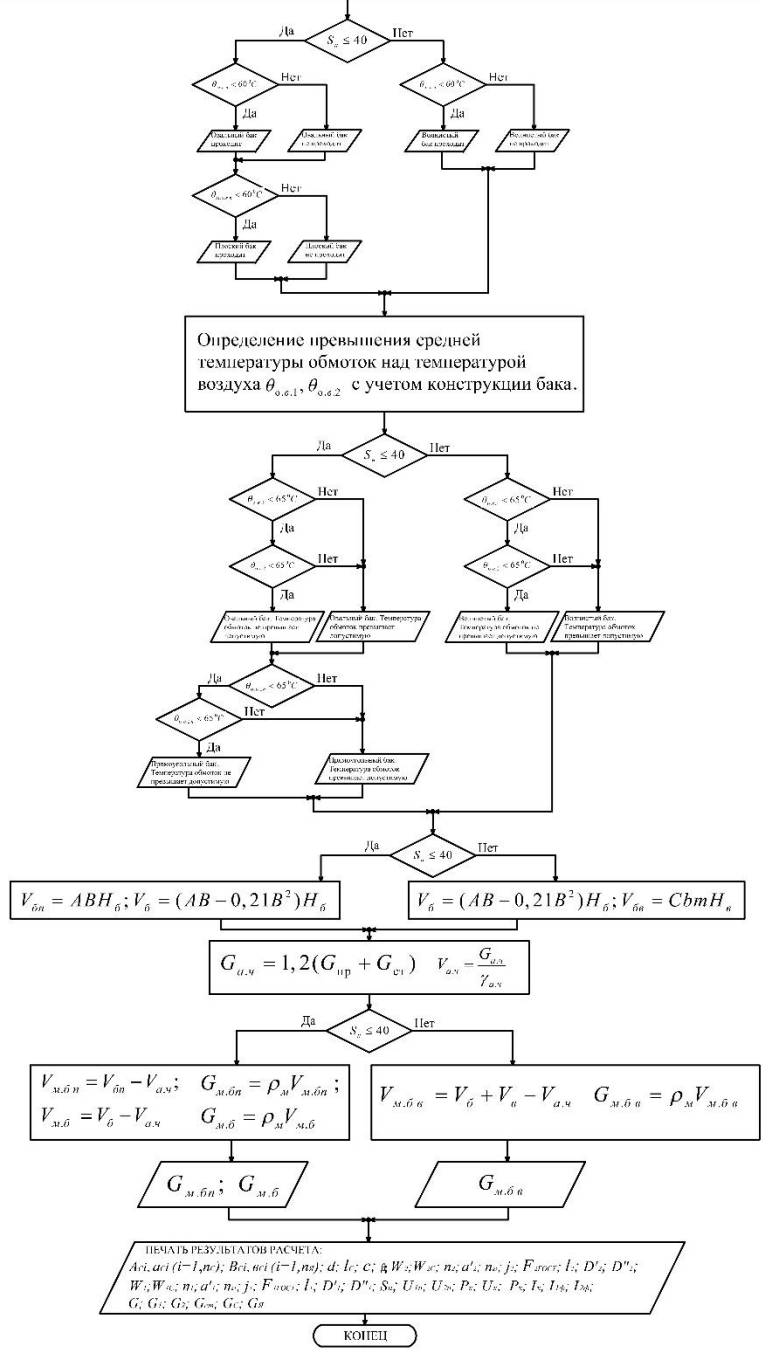


Рисунок 1 – Алгоритм расчета конструктивно-режимных параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом».

Заключение

1. При разработке новой серии трансформаторов расчеты конструктивно-режимных параметров трансформатора целесообразно выполнять путем создания и применения специальной программы для расчета его параметров на ЭВМ.

2. Алгоритм расчета параметров трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом», разработанный на основе предложенной методики, может быть положен в основу компьютерной программы расчета.

Список использованных источников:

1. Патент №16008 Трехфазный симметрирующий трансформатор с четной группой соединения обмоток: / А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» - № а 20100121; заявл. 2010.02.01; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3. – С. 180-181.

2. Прищепов, М.А. Особенности преобразования электрической энергии в трансформаторе со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Агропанорама. – 2017. – № 5. – С. 16-25.

3. Прищепов, М.А. Работа трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 25-31.

4. Прищепов, М.А. Экспериментальные исследования работы трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» при несимметричной нагрузке / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга, // Агропанорама. – 2019. – № 5. – С. 38-41.

5. Зеленкевич А.И., Прищепов М.А., Збродыга В.М., Конструктивное исполнение трансформатора «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях: материалы VII Национальной научно-практической конференции, РФ, Саратов / ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. – Саратов, 2020. С. 19-22.

6. Петров, Г.Н. Электрические машины. Ч.1 / Г.Н. Петров. – М.: Энергия, 1974. – 240 с.

7. Васютинский, С.Б. Вопросы теории и расчета трансформаторов/ С.Б. Васютинский. – Л.: Энергия, 1970. - 432 с.

8. Robert M. Del Vecchio, Bertrand Poulin, Pierre T. Feghali, Dilipkumar M. Shah and Rajendra Ahuja. Transformer design principles: with application to core-form transformers // Gordon and Breach Science Publishers. 2003. - 700 s.

9. Прищепов, М.А. Методика расчета конструктивных параметров и технических характеристик трансформатора со схемой соединения обмоток «звезда-двойной зигзаг с нулевым проводом» / М.А. Прищепов, А.И. Зеленкевич, В.М. Збродыга // Агропанорама. - 2020. - N 6. - С. 32-37.