

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова



2017 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХФАЗНОЙ ЦЕПИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ НАГРУЗКИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЗВЕЗДОЙ

методическое указание к выполнению лабораторной работы

по теоретическим основам электротехники

для студентов направления подготовки

«Электроэнергетика и электротехника»

Курск 2017

УДК 621.301

Составитель Л.В. Плесконос

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры электроснабжения

А.Л. Овчинников

Исследование трёхфазной цепи при соединении нагрузки потребителей звездой Методическое указание к выполнению лабораторной работы по теоретическим основам электротехники для студентов направления подготовки «Электроэнергетика и электротехника» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Л.В. Плесконос. г. Курск, 2017, с.12: ил. 5, табл. 1, прилож. 1. Библиогр.: с.12.

Излагаются методические указания и теоретический материал, необходимый для выполнения работы.

Предназначены для студентов направления подготовки

"Электроэнергетика и электротехника"

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *3.04.17* Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. *0,7* Уч.-изд. л. *0,6* Тираж 150 экз. Заказ *45* Бесплатно

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОЙ ЦЕПИ, СОЕДИНЕННОЙ ЗВЕЗДОЙ

Целью работы является изучение на основе экспериментов и с помощью метода векторных диаграмм основных соотношений и особенностей ряда характерных режимов в трехфазной цепи.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В работе исследуется распределение токов и напряжений в трехфазной системе при соединении источников питания и различных цепей нагрузки звездой с нейтралью и без нее.

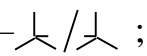
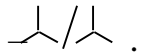
Для всех рассматриваемых случаев выполняется построение векторных диаграмм. Ввиду практической важности работы каждую из них надлежит продумать и дать им соответствующее объяснение.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под трехфазной системой понимается совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на угол $2\pi/3$ (120°), создаваемые общим источником электрической энергии (например, синхронным генератором).

При соединении обмоток генератора или приемников звездой концы трех фаз соединены в общую точку, называемую нейтральной или нулевой.

На практике применяются две схемы соединения фаз генератора и приемника, соединенных звездой:

- а) звезда – звезда с нулевым проводом  ;
- б) звезда – звезда без нулевого провода  .

На рис. 1.1 изображена схема трехфазной цепи соединения звезда – звезда с нулевым проводом. а на рис. 1.2 – звезда – звезда без нулевого провода.

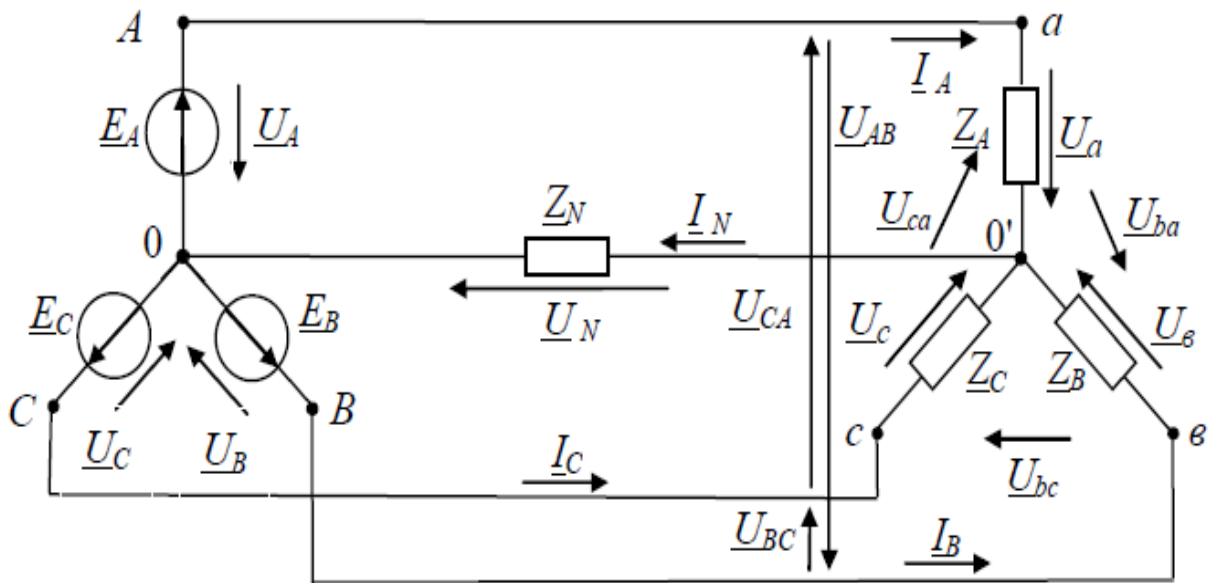


Рис. 1.1 Трехфазная цепь звезда – звезда с нулевым проводом.

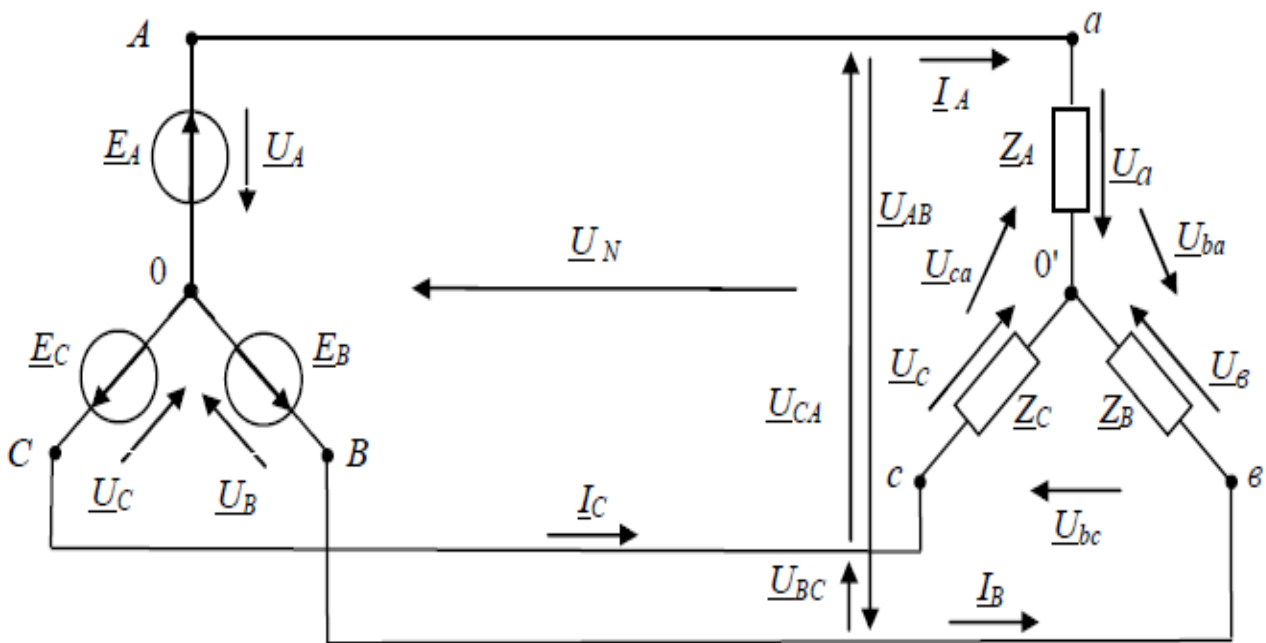


Рис. 1.2 Трехфазная цепь звезда – звезда без нулевого провода.

ЭДС, наводимые в фазных обмотках генератора, напряжения на их зажимах, напряжения на фазах нагрузки и токи в них называются соответственно фазными ЭДС, напряжениями и токами и обозначаются:

$$E_{\phi} \text{ или } E_A, E_B, E_C;$$

$$U_{\phi} \text{ или } U_A, U_B, U_C;$$

$$I_{\phi} \text{ или } I_A, I_B, I_C;$$

при этом имеются в виду действующие значения.

Напряжения между линейными проводами и токи в них называются линейными напряжениями и токами и обозначаются соответственно

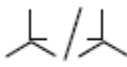
$$U_{\text{Л}} \text{ или } U_{AB}, U_{BC}, U_{CA};$$

$$I_{\text{Л}} \text{ или } I_A, I_B, I_C.$$

Очевидно, что для схем соединения фаз приемника звездой в линейных проводниках и в нагрузке протекает один и тот же ток

$$I_{\text{Л}} = I_{\phi}. \quad (1)$$

В работе проводится исследование режимов работы трехфазной цепи при условии симметричной системы ЭДС генератора. Фазы генератора и приемника соединены звездой. В расчетах считаем, что фазные ЭДС генератора равны их фазным напряжениям. Сопротивлениями соединительных проводов пренебрегаем.

Для схемы соединения  (рис. 1.1) имеют место следующие соотношения:

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = \underline{I}_N, \quad (2)$$

где ток \underline{I}_N – ток нулевого провода.

При заданной системе фазных ЭДС генератора

$$\begin{aligned} \underline{I}_A &= (\underline{E}_A - \underline{U}_N) \underline{Y}_A, \\ \underline{I}_B &= (\underline{E}_B - \underline{U}_N) \underline{Y}_B, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\underline{I}_C = (\underline{E}_C - \underline{U}_N) \underline{Y}_C,$$

$$\underline{I}_N = \underline{U}_N \underline{Y}_N.$$

где $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ – комплексные проводимости фаз нагрузки (величины, обратные комплексным сопротивлениям $\underline{Z}_A, \underline{Z}_B, \underline{Z}_C$), \underline{Y}_N – комплексная проводимость нулевого провода (величина, обратная \underline{Z}_N); \underline{U}_N – напряжение между нейтральными точками $0'$ и 0 (смещение нейтрали)

$$\underline{U}_N = \underline{U}_{0'0} = \frac{\underline{E}_A \underline{Y}_A + \underline{E}_B \underline{Y}_B + \underline{E}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C + \underline{Y}_N}. \quad (4)$$

Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с диаграммой токов изображена на рис. 1.3.

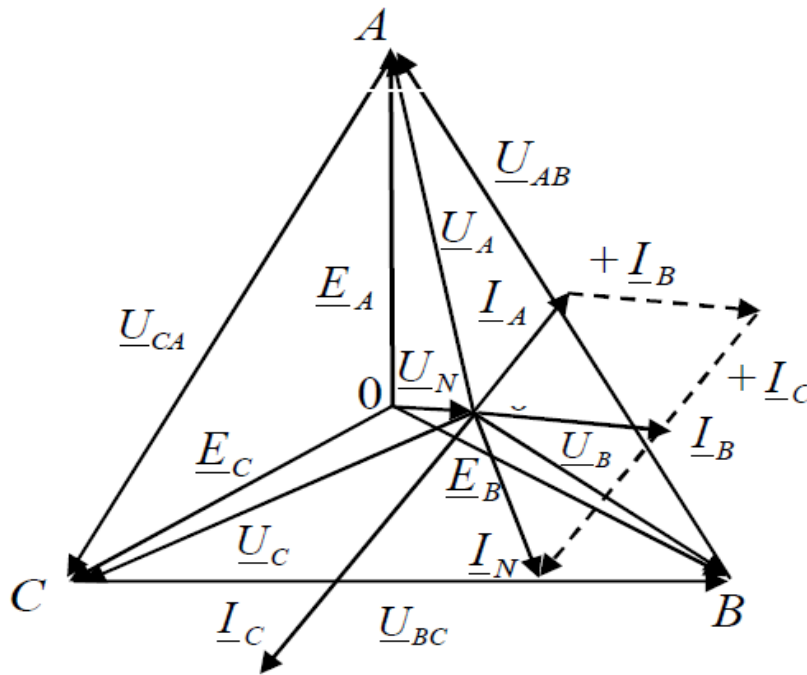


Рис. 1.3 Топографическая диаграмма напряжений, совмещенная с диаграммой токов

При симметричной нагрузке фаз $\underline{Y}_A = \underline{Y}_B = \underline{Y}_C$ расчет упрощается:

$$E_\phi = U_\phi, U_N = 0, \quad (5)$$

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi, I_N = 0.$$

Для схемы (1.2) при заданной системе фазных ЭДС генератора справедливы все соотношения схемы при условии $\underline{Y}_N = 0$.

При соединении приемника звездой без нейтрального провода, фазные напряжения можно определить, зная линейные напряжения и комплексные проводимости фаз нагрузки по следующим формулам:

$$\begin{aligned} \underline{U}_A &= \frac{\underline{U}_{AB}\underline{Y}_B - \underline{U}_{CA}\underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \\ \underline{U}_B &= \frac{\underline{U}_{BC}\underline{Y}_C - \underline{U}_{AB}\underline{Y}_A}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \\ \underline{U}_C &= \frac{\underline{U}_{CA}\underline{Y}_A - \underline{U}_{BC}\underline{Y}_B}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}. \end{aligned} \quad (6)$$

Фазные токи определяются по закону Ома:

$$\begin{aligned}\underline{I}_A &= \underline{U}_A \underline{Y}_A, \\ \underline{I}_B &= \underline{U}_B \underline{Y}_B, \\ \underline{I}_C &= \underline{U}_C \underline{Y}_C.\end{aligned}\tag{7}$$

Кроме того, очевидно, что

$$\underline{I}_A + \underline{I}_B + \underline{I}_C = 0.\tag{8}$$

2. ЗАДАНИЕ

Предварительные замечания

Схемы рабочих цепей даны на рис. 2.1 и 2.2.

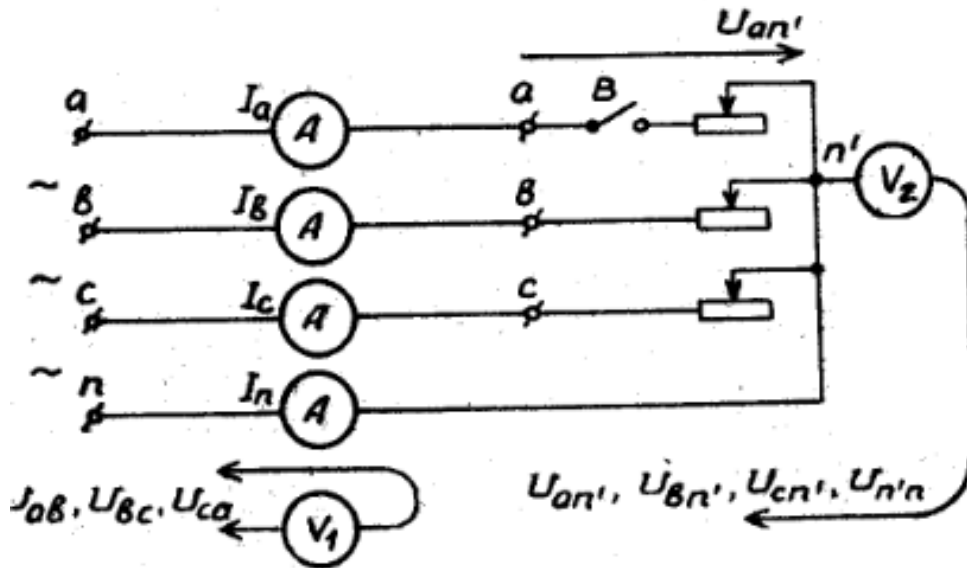


Рис. 2.1 Четырёхпроводная схема рабочей цепи.

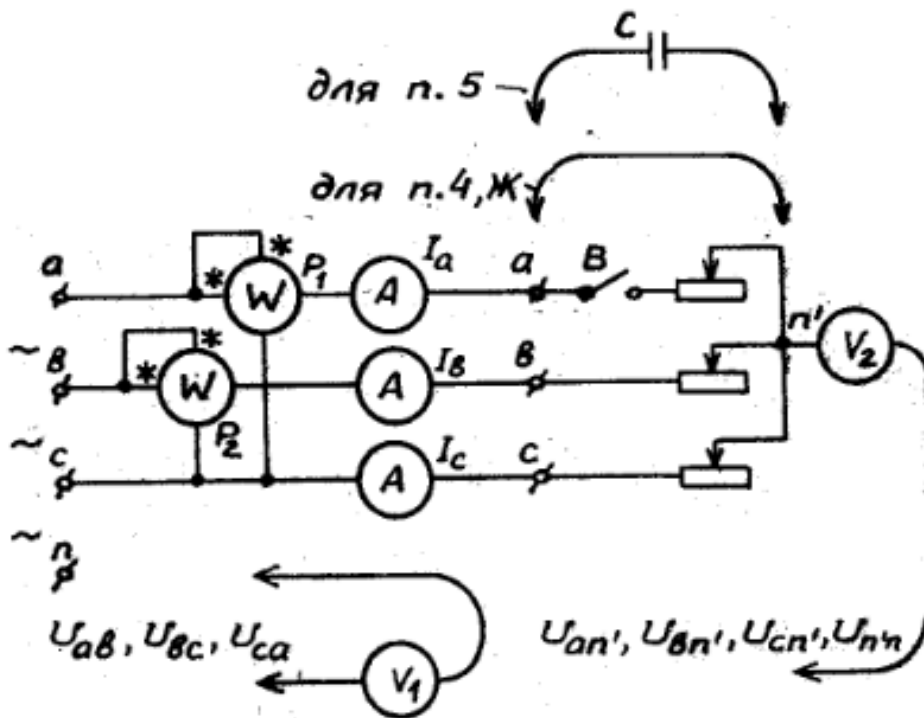


Рис. 2.2 Схема рабочей цепи без нейтрали.

Питание стенда от трехфазной сети осуществляется через трехфазный трансформатор. В качестве нагрузки применяются однотипные реостаты. Вольтметры используются как переносные приборы: V_1 предназначен для измерения напряжения на зажимах цепи, V_2 – для измерения фазовых напряжений и смещения нейтрали $\dot{U}_{n'n}$. Характеристики реостатов (сопротивление, допустимый ток), основные данные измерительных приборов и рекомендуемые характеристики режимов приведены в приложении.

Для записи опытных данных подготовить таблицу 1.

Табл. 1

Опыт	Из опытов												Из расчетов					
	U_{ab} В	U_{bc} В	U_{ca} В	$U_{an'}$ В	$U_{bn'}$ В	$U_{cn'}$ В	$U_{n'n}$ В	I_a А	I_b А	I_c А	I_n А	P_1 Вт	P_2 Вт	P_a Вт	P_b Вт	P_c Вт	P_Σ Вт	P Вт
А																		
Б																		
В																		
Г																		
Д																		
Е																		
Ж																		
п.5																		

Выполнить следующее:

1. Собрать рабочую цепь с нейтральным проводом (рис. 2.1). Выключатель В оставить в замкнутом положении.

2. В цепи с нейтралью изучить следующие случаи:

а) симметричный режим. Факт симметрии устанавливается по равенству показаний фазовых амперметров. Как в данном опыте, так и во всех прочих, нужно следить, чтобы фазовый ток не превосходил допустимого значения для реостатов нагрузки;

б) несимметричный режим. В опыте нужно получить заметную величину отношения (порядка 1,5 – 2) наибольшего и наименьшего показаний фазовых амперметров;

в) обрыв в фазе нагрузки. Предварительно следует восстановить симметричный режим случая а. Разомкнуть выключатель В и снять показания приборов.

3. Собрать рабочую цепь без нейтрального провода (рис. 2.2). Замкнуть выключатель В.

4. В цепи без нейтрали изучить следующие случаи:

г) симметричный режим;

д) несимметричный режим;

е) обрыв в фазе нагрузки.

Эти опыты проводятся аналогично опытам в случаях а, б и в. В случае е также предварительно нужно восстановить симметричный режим (случай г).

ж) Короткое замыкание в фазе нагрузки. Предварительно установить симметричный режим с фазовыми токами, значения которых примерно вдвое меньше допустимого. Характеристики этого режима внести в табл. 1. Отключив источник питания, замкнуть накоротко (перемычкой) реостат) в фазе а. Убедившись, что нулевой зажим источника питания остается свободным, включить напряжение и снять показания приборов.

5. Нарушение симметрии только за счет реактивности – случай, когда $\underline{z}_b = \underline{x}_c = r$, $\underline{z}_a = -j\tau$.

Отключить питание. Рассчитать емкость из условия $(I/G\Delta C) = r$, где $r = (U_\phi/I_\phi)$, U_ϕ и I_ϕ – показания фазовых приборов в симметричном режиме предыдущего опыта (п.4, ж). Заменить реостат в фазе батареей конденсаторов с общей емкостью, близкой к рассчитанной. Включив питание, снять показания приборов.

Обработка результатов опытов

6. Построить (с указанием масштабов) совмещенные векторные токов и напряжений для всех измеренных режимов. Диаграммы напряжений должны быть топографическими.

Все построения легко выполняются с помощью циркуля.

7. Выполнить расчет мощностей.

8. Продумать особенности отдельных схем и рассмотренных режимов. Каждую векторную диаграмму снабдить краткими выводами об особенностях распределения токов и напряжений.

9. На основании опытных данных п.5 продумать и описать способ определения порядка следования фаз.

3. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните условия и признаки симметричных режимов в трехфазных системах, соединенных звездой.

2. Каковы соотношения между действующими значениями линейных и фазовых величин симметричной цепи?

3. Как объяснить отсутствие тока в нейтрали, в то время как фазовые токи отличны от нуля? К чему сводится роль нейтрали?

4. Короткое замыкание в цепи с нейтралью есть недопустимый режим. Почему?

5. Поясните, как ведет себя смещение нейтрали (величина $\dot{U}_{n'n}$) при чисто активной нагрузке, если сопротивления фаз b и c одинаковы, а сопротивление фазы a меняется от нуля до бесконечности. Покажите на топографической диаграмме траекторию нейтральной точки n' .

6. Пусть в симметричной цепи с нейтралью $Z_{\phi} = r$. Будет ли нарушением симметрии замена фазового резистора конденсатором с $X_C = r$?

7. Может ли служить фазоуказателем трехфазная цепь, в которой вместо емкости используется индуктивность, отвечающая условию $\omega L = r_b = r_c$? Поясните с помощью векторных диаграмм.

8. Нарисуйте и поясните схемы измерения мощности в трех- и четырехпроводной трехфазной цепи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники (электрические цепи). М., «Высшая школа», 1978, с.141 – 150.

2. Зевеке Г. В., Ионкин П. А., Нетушил А. В., Страхов С. В. Основы теории цепей. «Энергия», 1965, § 8-1 – 8-8.

Приложение к работе

Для удобства измерений и во избежание ошибок фазовые амперметры следует располагать на стенде в обычном порядке чередования фаз рядом с реостатами нагрузки.

Номинальное сопротивление реостатов – 540 Ом, длительно допустимый ток – 0,5 А.

Трехфазовая система напряжений включается общим выключателем «СЕТЬ», напряжения подаются непосредственно от трансформатора и не регулируются. При первом включении вновь собранной цепи следует предварительно ввести полное сопротивление всех реостатов.

Измерительные приборы:

— амперметр электромагнитный класса 0,5 на 1 А (типа Э514) — 4 шт;

— вольтметры электромагнитные класса 0,5 на 150 и 300 В (типа Э515) — 2 шт.

— ваттметры электродинамические класса 0,5 на 150 Вт (типа Д5001) — 2 шт;

Катушки напряжения ваттметров устанавливаются на предел 300 В.