



## STAND FOR RESEARCH OF THE LAYOUTS OF THE DEVICES FOR JUNCTION OF THE ENERGY SYSTEMS OF ALTERNATING CURRENT

Vitaly POSTOLATY, Alexandru SUVOROV, Vladimir ANISIMOV  
Institute of Power Engineering of ASM

**Abstract.** *The junction of power systems supposes transmission of high power energy using the expensive devices. The last ones continue to be improved, including in significantly different versions. Therefore, a comparison of their work at the layout will not only help to choose the cheaper option of performance, but also helps to develop ways to reduce their disadvantages. The stand consists of two independently operating three-phase AC signal generators; each of them is individually adjusted in frequency and magnitude of the output voltage.*

*The circuit of the generator contains components that allow the research work of the layout of interconnection device in various modes of distortion of static operation.*

**Key words:** *junction of energy systems, stand for research, three-phase generator of signals of alternating current*

## STAND PENTRU CERCETAREA MOSTRELOR ECHIPAMENTELOR DE JONCTIUNE A SISTEMELOR ENERGETICE DE CURENT ALTERNATIV

Vitali POSTOLATI, Alexandru SUVOROV, Vladimir ANISIMOV  
Institutul de Energetică al AȘM

**Rezumat.** *Jonctiunea sistemelor energetice presupune transmiterea puterilor mari prin intermediul unor dispozitive costisitoare. Ultimele continuă să fie perfecționate, inclusiv, în variante de realizare care diferă mult de cele inițiale. De aceea, compararea funcționării mostrelor la stand va permite nu doar să se aleagă cea mai necostisitoare variantă, dar și va permite elaborarea remediilor de reducere a dezavantajelor lor. Standul costă din două generatoare trifazate de semnale de curent alternativ care lucrează independent, fiecare având posibilitatea de reglare a frecvenței și a valorii tensiunii de ieșire.*

*Schema generatoarelor conțin module, care permit cercetarea funcționării mostrei dispozitivului de jonctiune a sistemelor energetice, comutată între ele, în regimuri practic întâlnite de dereglare a funcționării statice.*

**Cuvinte cheie:** *jonctiunea sistemelor energetice, stand pentru cercetări, generatoare trifazate de semnale de curent alternativ*

## СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МАКЕТОВ УСТРОЙСТВ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Постолатий В.М., Суворов А.С., Анисимов В.К.  
Институт энергетики АНМ

**Реферат.** *Объединение энергосистем предусматривает передачу больших мощностей через дорогостоящие устройства. Последние продолжают совершенствоваться, в том числе и в значительно отличающихся вариантах исполнения. Поэтому сравнение работы их макетов на стенде позволит не только выбрать более дешевый вариант исполнения, но и поможет разрабатывать пути уменьшения их недостатков. Стенд состоит из двух независимо работающих трехфазных генераторов сигналов переменного тока, каждый из которых отдельно регулируется по частоте и по величине выходного напряжения.*

*Схемы генераторов содержат узлы, допускающие исследования работы включаемого между ними макета устройства объединения энергосистем в различных практически встречающихся режимах нарушения статической работы.*

**Ключевые слова:** *объединение энергосистем, стенд для исследований, трехфазные генераторы сигналов переменного тока.*

Задача объединения энергосистем переменного тока, работающих несинхронно, имеет несколько принципиально разных вариантов решения. Они рассмотрены в работе [1], в которой приведен соответствующий список литературы. Ограничимся перечислением основных из них: вставки постоянного тока, вставки переменного тока, и управляемые по величине индуктивности. К ним предъявляются большие требования: высокий КПД, большая пропускная мощность, низкая стоимость и др.

Поэтому можно утверждать, что ассортимент вариантов решения этой задачи будет расширяться. В связи с этим возникла необходимость сравнения разных вариантов реализации устройств объединения энергосистем, причем сравнение проводить экспериментальное. Из-за большой стоимости этих устройств сравнение можно проводить на макетах. Соответственно для удобства работы должен быть стенд, позволяющий проводить с макетом экспериментальные исследования. Схема на рис. 1 и 2.

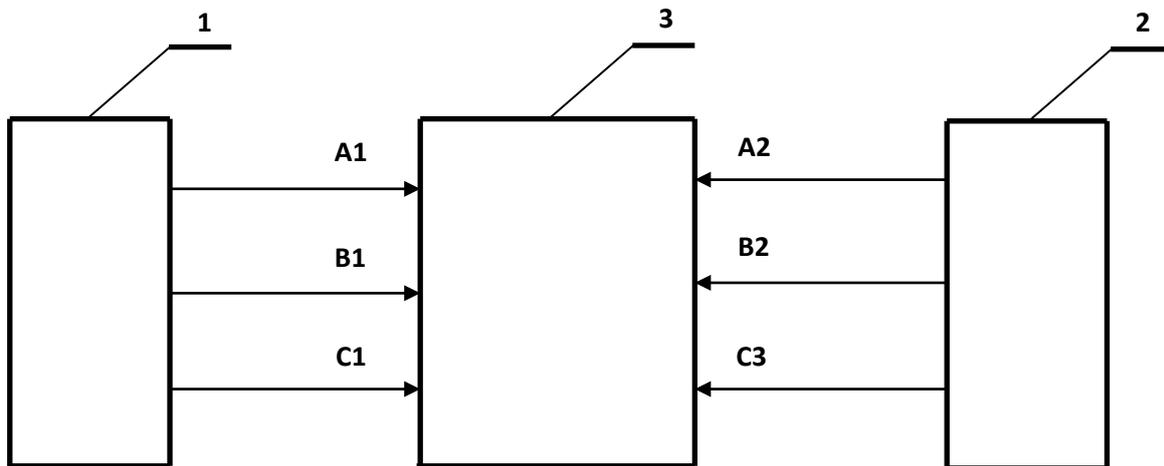


Рис.1. Общая функциональная схема стенда.

Два одинаковых генератора (1 и 2 на Рис.1) трехфазных сигналов синусоидальной формы имитируют работающие несинхронно системы переменного тока, и своими фазными выходами (соответственно A1, B1, C1 и A2, B2, C2) подключены к макету устройства для соединения двух энергосистем. Каждый из этих генераторов состоит (см. рис. 2) из задающего генератора 1 и трех одинаковых схем дальнейшего преобразования сигналов этого генератора.

Сам задающий генератор может состоять, например, из трех последовательно соединенных в кольцевую схему логических элементов, разделенных времязадающими RC-цепочками. Такая схема удобна тем, что изменением величины сопротивлений можно точно установить величины фазовых сдвигов между сигналами на выходах задающего генератора, а далее одновременным переключением всех трех дополнительных резисторов (входящих в состав этих RC-цепочек), переключать частоту этого генератора – с величины  $f_1$  на величину  $f_2$ . Схема дальнейшего преобразования сигналов в каждой фазе состоит из последовательно соединенных: фазосдвигающей цепочки (соответственно фазам: 2A, 2B, 2C), параллельного колебательного контура (аналогично: 3A, 3B, 3C), переключателя выходного напряжения (4A, 4B, 4C), и резистора (RA, RB, RC). Выводы последних соединены с клеммами (соответственно: A-1 и A-2 в фазе A, и т. д.) для подключения измерительных и показывающих приборов.

Параллельный колебательный контур 3 настроен на резонансную частоту  $f_p = (f_1 + f_2)/2$ .

В качестве индуктивности этого контура удобно использовать первичную обмотку трансформатора, напряжение с вторичной обмотки которого и является выходным сигналом данной фазы.

Основное назначение стенда – работа по схеме: соединение фаз – звездой. В данном варианте реализации стенд позволяет исследовать только

стационарные процессы. Переключение величины выходного напряжения осуществляют переключением выводов от вторичной обмотки, число витков которой значительно меньше, чем число витков первичной обмотки. В контур сигнал подают аналогично – на часть первичной обмотки. Это сделано для уменьшения влияния внешних цепей на резонансные свойства колебательного контура.

Макет устройства для объединения энергосистем включают между выходами генераторов трехфазных сигналов согласно схеме на рис. 1. Сначала величины фазных напряжений обоих генераторов устанавливают одинаковыми, и все переключатели фазовых сдвигов устанавливают в одинаковое положение. При этом макет должен работать в режиме преобразования частоты без передачи энергии. Затем увеличивают напряжение на выходах одного генератора, и по изменению распределения напряжений между резисторами RA, RB, RC определяют мощность, передаваемую от одного генератора в цепь нагрузки другого генератора.

Рассмотрим (для одной фазы) пример передачи энергии от второго генератора 2 в нагрузку первого генератора 1 путем увеличения напряжения на втором генераторе. Для определения величины мощности, передаваемой из одной энергосистемы в другую, анализом эквивалентной схемы, приведенной на рис. 3, получим формулу для определения мощности в нагрузке ( $Z_{н1}$ ) первого генератора.

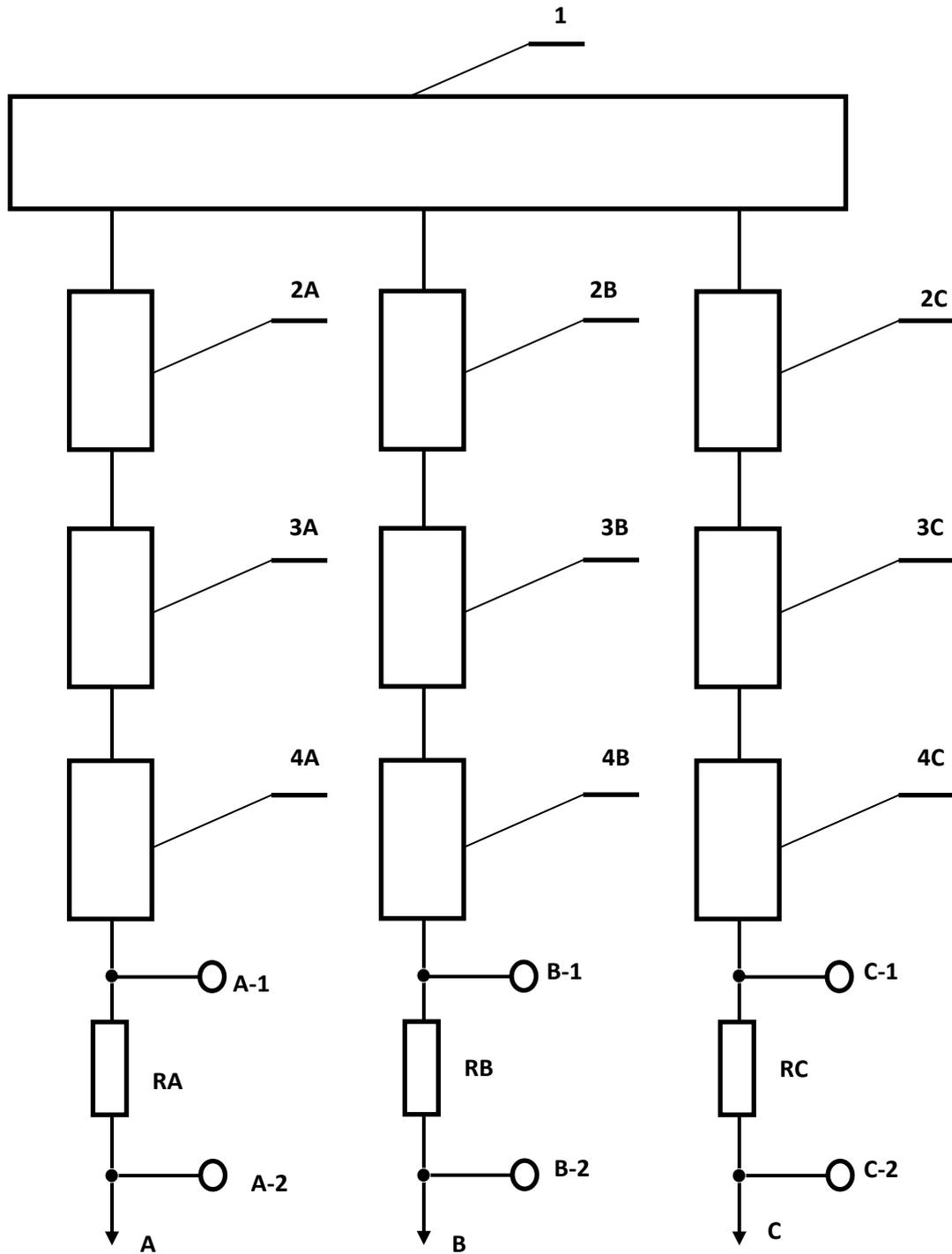


Рис.2. Функциональная схема генератора.

Используем метод контурных токов. Их направления показаны на фиг. 3 стрелками в трех контурах. По законам Кирхгоффа составляем уравнения:

Для первого контура:

$$E_1 = I_1 Z_{i1} + I_1 Z_{n1} + I_2 Z_{n1} \quad (1)$$

Для второго контура:

$$0 = I_2 Z_{n1} + I_2 Z_f + I_2 Z_{n2} + I_1 Z_{n1} + I_3 Z_{n2} \quad (2)$$

Для третьего контура:

$$-E_2 = I_3 Z_{i2} + I_3 Z_{n2} + I_2 Z_{n2} \quad (3)$$

Для упрощения записей введем обозначения:

$$A = Z_{i1} + Z_{n1},$$

$$B = Z_{n1} + Z_f + Z_{n2}, \quad C = Z_{i2} + Z_{n2}$$

Решение системы уравнений относительно тока во втором контуре имеет вид:  $I_2 = (AE_2 Z_{n2} - CE_1 Z_{n1}) / [ABC - (Z_{n1})^2 C - (Z_{n2})^2 A]$

а для тока в первом контуре:

$$I_1 = (E_1 - I_2 Z_{n1}) / A.$$

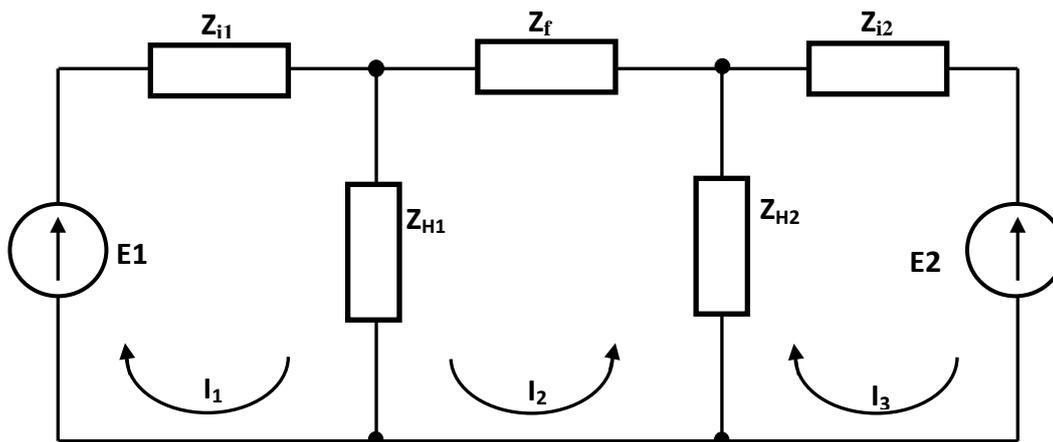


Рис. 3. Электрическая эквивалентная схема стенда (для одной фазы).

Величина мощности в нагрузке  $Z_{H1}$  первого генератора до начала передачи энергии от второго генератора:  $P_1 = (I_1)^2 Z_{H1}$ , а после начала передачи энергии от второго генератора:  $P_2 = (I_1 + I_2)^2 Z_{H1}$ . Следует отметить, что ток первого генератора уменьшается по мере увеличения тока от второго генератора, поэтому для определения величин мощностей  $P_1$  и  $P_2$  величину тока  $I_1$  необходимо определять раздельно.

Передаваемая мощность определяется по формуле:  $P_{\text{п}} = P_2 - P_1$

Расчет величины передаваемой мощности при изменении величины фазового сдвига на величину ( $\Psi$ ) произведем следующим образом.

Формула для определения мгновенного значения тока  $i_2$  имеет вид:

$$i_2 = (A \cdot 1,41 \cdot E_2 [\sin(wt + \Psi)] Z_{H2} - C \cdot 1,41 \cdot E_1 [\sin(wt)] Z_{H1}) / [AB - (Z_{H1})^2 C - (Z_{H2})^2 A]$$

С учетом, что в данной схеме  $A=C$ ,  $Z_{H2} = Z_{H1}$  и  $E_2 = E_1$ ,

а также то, что  $\sin(wt + \Psi) = \sin(wt) \cdot \cos\Psi + \sin\Psi \cdot \cos(wt)$ , формула для расчета  $i_2$  упрощается:  $\sin(wt + \Psi) = \sin(wt) \cdot \cos\Psi + \sin\Psi \cdot \cos(wt)$ ,  $i_2 = \{1,41 \cdot Z_{H1} \cdot E_1 [\sin\Psi \cdot \cos(wt) - (1 - \cos\Psi) \cdot \sin(wt)]\} / [AB - 2(Z_{H1})^2]$

Расчет проводится для угла меньше трех градусов, поэтому с достаточной для практических расчетов точностью можно считать, что  $\sin\Psi = \Psi$ , и  $\cos\Psi = 1$ .

При этом формула для расчета  $i_2$  еще упрощается:

$$i_2 = \{1,41 \cdot Z_{H1} \cdot E_1 [\sin\Psi \cdot \cos(wt)]\} / [AB - 2(Z_{H1})^2]$$

Мощность в нагрузке до и после начала передачи энергии от второго генератора и

передаваемая мощность определяются по тем же формулам, что и при изменении величины напряжения.

Авторы благодарят ученого секретаря Института Энергетики Посторонкэ С. за оформительскую помощь в работе.

## ВЫВОДЫ

1. Разнообразие подходов к решению задачи объединения несинхронно работающих энергосистем позволяет предположить продолжение расширения ассортимента вариантов решений и конкуренцию между ними, прежде всего – по стоимости реализации.
2. Стенд для исследования макетов устройств объединения энергосистем переменного тока следует дополнить узлами, позволяющими исследовать переходные процессы, возникающие при практически встречающихся ситуациях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Bosneaga V., Suslov V., Postolaty V. Reaktorno-kondensatornoie ustroistvo dlea sveazi asinhronno rabotaiuschih energosistem peremennogo toka. [Reactor-Capacitor Device for Link Between Non-Synchronous Power Systems]. Problemi regionalnoi energetiki, elektronni resurs, №1(30), 2016, p. 47-55.
2. Основы электротехники. Под ред. Круга К. А. Государственное энергетическое издательство. М., 1952, 432 с.
3. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике ( для научных работников и инженеров). Перевод с английского. Под редакцией Арамановича И. Г. «Наука», М., 1968, 720 с.