

УДК 621. 316. 729

Б.Т. КОНОНОВ, д-р техн. наук, проф.

В.В. ВІННИЦЬКА, магістрант

Харківський університет повітряних сил імені Івана Кожедуба, м. Харків

## СПОСІБ ОТРИМАННЯ ПОСТІЙНОГО ЧАСУ ВИПЕРЕДЖЕННЯ ТА ПРИСТРІЙ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ

В статті обоснован спосіб получения постоянного времени опережения, который позволяет уменьшить угловую ошибку при формировании команды на включение выключателя при синхронизации синхронных генераторов, а тем самым сделать невозможным возникновение возмущений в системе электроснабжения.

**Ключевые слова:** синхронизация синхронных генераторов, постоянное время опережения.

У статті обґрунтований спосіб отримання постійного часу випередження, який дозволяє зменшити кутову помилку при формуванні команди на вмикання вимикача при синхронізації синхронних генераторів, а тим самим уніможливити виникнення збурень в системі електропостачання.

**Ключові слова:** синхронізація синхронних генераторів, постійний час випередження.

### Постановка науково-технічної задачі

В пристроях автоматичної точної синхронізації, які використовуються для вмикання синхронних генераторів на паралельну роботу, при визначенні миті подачі команди на спрацювання вимикача генератора необхідно враховувати його інерційність, яка визначається часом вмикання. Від точності виконання операції синхронізації залежать величини кидків струмів й провалів напруг, які негативно впливають як на роботу працюючих та вмикаємих генераторів, так і на роботу споживачів електричної енергії. У зв'язку з викладеним, науково-технічна задача забезпечення вимагаємої точності при визначенні миті вмикання вимикача генератора представляється важливою та актуальною.

### Аналіз літератури

Основні принципи побудови пристроїв синхронізації викладені в [1], де вказано, що для врахування інерційності вимикача можливо подачу команди на спрацювання вимикача подавати з постійним кутом або постійним часом випередження. У синхронізатора з постійним кутом випередження команду на вмикання вимикача подають тоді, коли кут випередження  $\delta_{\text{вип}}$  визначається співвідношенням

$$\delta_{\text{вип}} = \omega_s \text{ роз } t_{\text{вмк}} = \text{const} \quad (1)$$

де  $\omega_s \text{ роз}$  – розрахункова кутова частота ковзання, значення якої частіше за все вибирається таким, що дорівнює половині допустимого з умов синхронізації значення кутової частоти ковзання  $\omega_s \text{ доп}$ ;

$t_{\text{вмк}}$  – час вмикання вимикача генератора.

У синхронізатора з постійним часом випередження команду на вмикання подають тоді, коли кут випередження  $\delta_{\text{вип}}$  визначається таким чином

$$\delta_{\text{вип}} = \omega_s \text{ факт } t_{\text{вмк}} = \text{const}, \quad (2)$$

де  $\omega_s \text{ факт}$  – фактичне значення кутової частоти ковзання.

Оскільки у синхронізаторів з постійним часом випередження кут випередження залежить від частоти ковзання, цей синхронізатор є складнішим у порівнянні з синхронізатором з постійним кутом випередження. Але, виходячи з того, що синхронізатору

з постійним кутом випередження властива кутова помилка  $\delta_{\text{пом}}$ , яка визначається співвідношенням

$$\delta_{\text{пом}} = (\omega_{\text{факт}} - \omega_{\text{s розр}})t_{\text{вмк}}, \quad (3)$$

перевагу слід надати синхронізатору з постійним часом випередження. Для отримання постійного часу випередження в [2] пропонується напругу меншої частоти зсувати в бік відставання на кут  $\alpha$ , пропорційний взаємному ковзанню напруг, що синхронізуються, та часу вмикання вимикача  $t_{\text{вмк}}$ , а мить подачі команди вибирати при співпадінні напруги більшої частоти зі зсунутої за фазою напругою меншої частоти.

Оскільки

$$\alpha = \omega_{\text{s}}t_{\text{вмк}} = \delta_{\text{вип}}, \quad (4)$$

в такий спосіб отримується постійний час випередження. Разом з тим, при малих значеннях кутової частоти ковзання виникають певні ускладнення при визначенні значення  $\omega_{\text{s}}$ , що приводить до появи помилки при зсуванні напруги за фазою, а тим самим й до помилки за кутом вмикання.

### Мета дійсної роботи

Обґрунтування способу підвищення точності відпрацювання постійного часу випередження у всьому діапазоні допустимих значень кутової частоти ковзання.

### Основний матеріал

Для підвищення точності визначення постійного часу випередження пропонується здійснювати зсув за фазою в бік відставання кожної з напруг, що синхронізуються, на кут, пропорційний ковзанню даної напруги по відношенню до деякої частоти  $\omega_0$ , загальної для обох напруг та свідомо більшої частоти кожної з напруг, що синхронізуються. Вибір миті вмикання здійснюється при цьому при співпадінні фаз зсунутих за фазою напруг [3]. Таким чином, якщо кут зсуву фази напруги мережі пропорційний різниці частот мережі і деякої частоти, а кут зсуву фази напруги генератора, що вмикається, пропорційний різниці частот генератора та тієї ж самої деякої частоти, а необхідний кут випередження пропорційний частоті ковзання напруги генератора відносно напруги мережі і часу випередження, то різниця перших двох кутів при виборі коефіцієнтів пропорційності однаковими буде пропорційна частоті ковзання генератора відносно мережі. Тим самим, при співпадінні зсунутих за фазою напруг фіксується постійний час випередження вимикача. Зазначений час може бути змінений шляхом зміни на ту ж саму величину коефіцієнтів пропорційності зсуву за фазою напруг, що синхронізуються.

Підвищення точності роботи пристрою синхронізації досягається можливістю використання для зсуву за фазою однотипних пристроїв, наприклад, аперіодичних лапок першого порядку загального типу та вибором загальної частоти, яка повинна бути свідомо більшою частот напруг, що синхронізуються. Відомо [4], що диференціальне рівняння ланки першого порядку загального типу має вигляд

$$(T_1P+1)x = K(T_2P+1)y, \quad (5)$$

де  $T_1, T_2$  – постійні часу;

$K$  – коефіцієнт підсилення;

$x, y$  – вихідна та вхідна координати.

Фазова характеристика ланки, що розглядається (5), описується співвідношенням

$$\theta(\omega) = \arctg \omega T_2 - \arctg \omega T_1. \quad (6)$$

Цю характеристику можливо представити відрізками прямих ліній, які для випадку  $\frac{0,1}{T_1} < \frac{0,1}{T_2} < \frac{1}{T_1} < \frac{1}{T_2} < \frac{10}{T_1} < \frac{10}{T_2}$  мають вигляд, що наведений на рис.1:

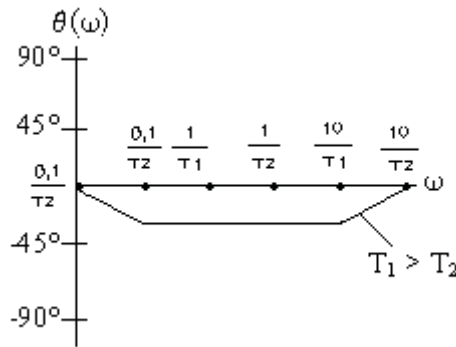


Рис. 1 Фазова характеристика ланки першого порядку загального типу

Зсув напруг, що синхронізуються, відповідно до запропонованого способу показаний на рис. 2:

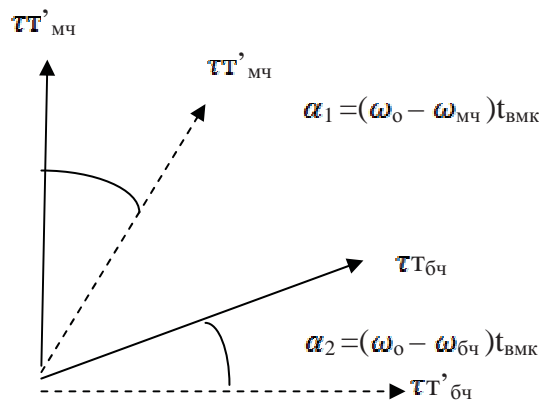


Рис. 2. Дійсні та зсунуті напруги

На рис. 2 індексами «Мч» та «Бч» зазначені менша та більша частоти. З рис 2 слідує, що в момент співпадіння зсунутих напруг  $\tau \tau'_{\text{Мч}}$  та  $\tau \tau'_{\text{Бч}}$  кут  $\delta$  дорівнює

$$\delta = \alpha_1 - \alpha_2 = (\omega_{\text{Бч}} - \omega_{\text{Мч}}) t_{\text{ВМК}} = \omega_s t_{\text{ВМК}} \quad (7)$$

Якщо здійснити вибір параметрів аперіодичної ланки, таким чином, що діапазон значень можливих кутових частот знаходиться біля лінійної ділянки фазової характеристики, то ця ланка буде забезпечувати зсув напруг, що синхронізуються відповідно до показаного на рис. 2

Дійсно, в інтервалі частот  $\frac{0,1}{T_1} < \omega < \frac{0,1}{T_2}$  фазова характеристика аперіодичної ланки має необхідний для отримання потрібного зсуву вигляд. Оскільки можлива помилка зі зсувом за фазою кожної напруги буде приблизно однаковою, оскільки помилка різниці зсуву за фазою може бути суттєво зменшена в значеному діапазоні частот ковзання.

Для технічної реалізації викладеного способу отримання постійного часу випередження пропонується використати автоматичні системи слідування за частотою [5]. Приклад такої системи наведений на рис 3, де показано схему з'єднання фазового детектора ФД, фільтра Ф та генератора імпульсів УГІ, що управляється.

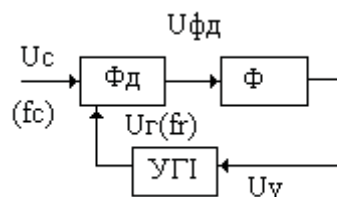


Рис. 3. Схема системи слідування за частотою

На вході фазового детектора подаються напруга сигналу  $U_c$ , яка залежить від частоти сигналу  $f_c$ , та напруга з виходу управляемого генератора імпульсів, яка залежить від частоти цього генератора  $f_r$ . На виході фазового детектора утворюється напруга  $U_{\phi\delta}$ , яка залежить від різниці фаз напруг  $U_c$  та  $U_e$ . Ця напруга через фільтр нижчих частот  $\Phi$  подається на вхід управляемого генератора імпульсів УГІ. Подача сигналу управління  $U_y$  на вхід УГІ змінює вихідну частоту цього генератора таким чином, що його частота  $f_r$  стає рівною частоті сигналу  $f_c$ , тобто

$$f_r = f_{r0} = K_y U_y = f_c, \tag{8}$$

де  $f_{r0}$  – частота генератора при відсутності напруги  $U_y$  на його вході;

$K_y$  – коефіцієнт підсилення генератора імпульсів.

Схема пристрою, за допомогою якого отримується постійний час випередження і де використовуються системи слідкування за фазою, наведена на рис. 4:

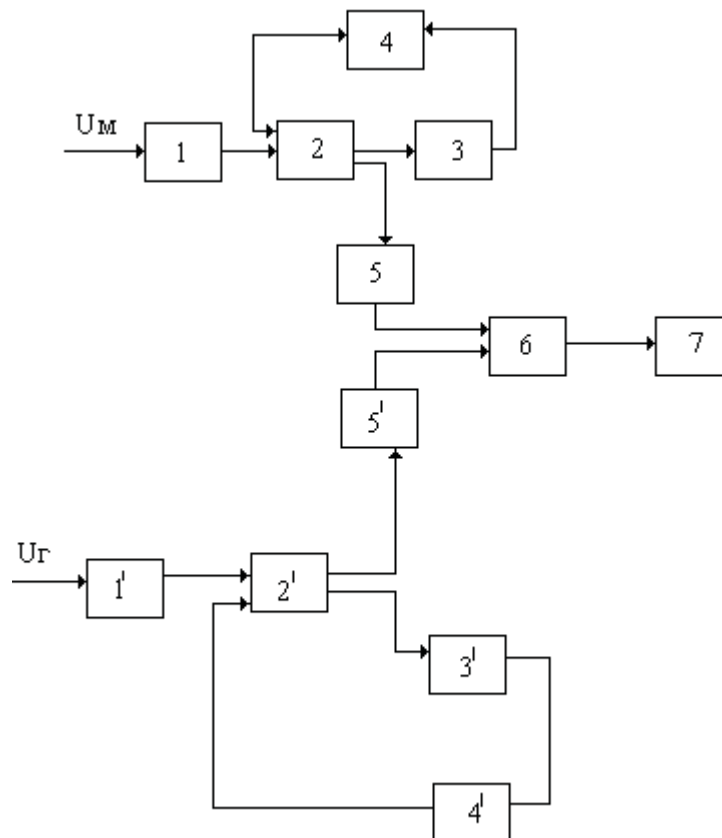


Рис. 4. Схема пристрою синхронізації

До складу пристрою синхронізації входять формувачі імпульсів 1(1'), тригери 2(2'), які використовуються в якості фазових детекторів, фільтри нижчих частот 3(3'), управляемі імпульсні генератори 4(4'), інвертори фази 5(5'), вихідний тригер 6 та релейний блок 7. В формувачах імпульсів напруги мережі  $U_M$  (генератора  $U_e$ ) перетворюються в послідовність імпульсів, які утворюються на початку кожного періоду. Частоти цих імпульсних послідовностей дорівнюють частотам мережі  $\omega_M$  та генератора  $\omega_r$ . Кожний імпульс перекидає тригер 2 (2') зі стану «1» в стан «0». Імпульсний генератор 4(4'), що управляється, подає імпульси на інший вхід тригера 2(2'), які перекидають його зі стану «0» в стан «1». Частота цих імпульсів з виходу генератора 4(4')  $\omega_4$  дорівнює

$$\omega_4 = \omega_0 - K_4 U_4, \tag{9}$$

де  $\omega_0$  – частота імпульсної послідовності при відсутності управляючої напруги  $U_3$  на його вході;

$K_4$  – коефіцієнт підсилення імпульсного генератора 4.

Напруга  $U_3$ , яка подається на вхід генератора 4, дорівнює

$$U_3 = K_3 U_{2\text{cp}}, \quad (10)$$

де  $K_3$  – коефіцієнт підсилення фільтра 3(3');

$U_{2\text{cp}}$  – середнє значення напруги на високі тригера 2(2').

Вибір виходу тригера 2(2') і значень величин коефіцієнтів  $K_3$  та  $K_4$  здійснюється таким чином, що б в певному діапазоні частот мережі(генератора) відбувається автоматичне захоплення частоти  $\omega_4$  імпульсного генератора,що управляється, та її налаштування до значень  $\omega_4 = \omega_M$  та  $\omega_4' = \omega_T$ .

У випадку, коли захоплення відбулося управляємий імпульсний генератор починає відпрацьовувати імпульси з частотою мережі (генератора), зсунуті за фазою на кут  $\beta_M$  ( $\beta_T$ ) по відношенню до імпульсних послідовностей з виходів формувачів імпульсів 1(1'). При цьому величина кута зсуву фаз  $\beta_M$  ( $\beta_T$ ) пропорційна потрібному значенню напруги, яке необхідне для налаштування частоти управляемого імпульсного генератора.

Якщо на входи тригерів 2 (2') подаються імпульсні послідовності, зсунуті за фазою на кут  $\beta_M$  ( $\beta_T$ ), напруги на виходах цих тригерів дорівнюють

$$\begin{aligned} U_{2\text{cp}} &= K_2 (2\pi - \beta_M); \\ U_{2'\text{cp}} &= K_2 (2\pi - \beta_T), \end{aligned} \quad (11)$$

де  $K_2$  – коефіцієнт підсилення тригера 2 (2'). Зрозуміло, що кут  $\beta_M$  ( $\beta_T$ ) пропорційний ковзанню напруги мережі (генератора) по відношенню до частоти управляемого імпульсного генератора  $\omega_0$

$$\beta_M = 2\pi - \frac{\omega_0 - \omega_M}{K_2 K_3 K_4}; \quad \beta_T = 2\pi - \frac{\omega_0 - \omega_T}{K_2 K_3 K_4}. \quad (12)$$

Для того,щоб кути відставання відповідали залежностям, показаним на рис. 2, потрібно в подальшому використовувати не кути  $\beta_M$  та  $\beta_T$ , а їх доповнення  $\alpha_M$  ( $\alpha_T$ ) до  $2\pi$ . Дійсно з (12) маємо  $\beta_M + \alpha_M = 2\pi$ ;  $\beta_T + \alpha_T = 2\pi$ :

$$\alpha_M = \frac{\omega_0 - \omega_M}{K_2 K_3 K_4}; \quad \alpha_T = \frac{\omega_0 - \omega_T}{K_2 K_3 K_4} \quad (13)$$

Операцію отримання кутів  $\alpha_M$  ( $\alpha_T$ ) відповідно до співвідношень (13) виконують інвертори фази 5 (5'). Якщо відбувається співпадіння фаз зсунутих за фазою напруг, що подаються на вихідний тригер 6 з виходів інверторів фаз 5 (5'), то напруга на виході тригера змінюється кидком, що фіксується релейним блоком, який при цьому відпрацьовує команду на вмикання вимикача генератора. Кут вмикання при цьому визначається з виразу

$$\delta = \alpha_T - \alpha_M = \frac{\omega_M - \omega_T}{K_2 K_3 K_4} = \frac{\omega_S}{K_2 K_3 K_4}. \quad (14)$$

Якщо  $\frac{1}{K_2 K_3 K_4} = t_{\text{вмк}}$ , то синхронізатор подає команду з постійним часом випередження.

### Висновки

1. Запропонований спосіб отримання постійного часу випередження відрізняється високою точністю відпрацювання команди на вмикання вимикача генератора в процесі синхронізації синхронних генераторів.

2. Схемна реалізація способу отримання постійного часу випередження не вимагає використання операції диференціювання для визначення кутової частоти ковзання.

3. На роботу пристрою не впливають можливі відхилення і коливання напруг мережі та генератора.

4. Пристрій синхронізації працює в широкому діапазоні допустимих значень кутових частот ковзання від  $-\omega_s$  доп до  $+\omega_s$  доп, в тому числі й при  $\omega_s \approx 0$ , де інші пристрої синхронізації працюють незадовільно.

## Список літератури

1. Релейний захист та автоматика в системах електропостачання військових об'єктів: Підручник/Б. Т. Кононов, Б. Ф. Самойленко, В. Б. Кононов –Х. : ХУПС, 2007. – 384 с.
2. Бобров П. П. Імпульсний автоматичний синхронізатор, Електричество, № 3, 1967, 23–25 с.
3. А. Е. Церковний, Б. Т. Кононов, Способ получения постоянного времени опережения, АС СССР №454634 от 25.12. 1974, опубликовано в БИ № 47 от 20.02.1975
4. А. А. Воронов Основы теории автоматического управления, часть 1, Линейные системы регулирования одной величины, Энергия, М.: – Л.: – 1965 – 396 с.
5. Б. Х. Кривицкий. Автоматическое слежение за частотой, Энергия, М, 1974, 136 с.

**THE METHOD OF PRODUCING A CONSTANT LEAD TIME AND THE DEVICE OF ITS IMPLEMENTATION**

---

B. T. KONONOV, D-r Scie. Tech., Pf.  
V. V. VINNITSKAYA, magistrant

*The method of producing a constant lead time is based in the article. This method allows to diminish the angular mistake in the forming of the command on switching on in the synchronization of synchronous generators. And it does not allow to appear the disturbances in the electricity supply system.*

**Key words:** synchronization of synchronous generators, constant lead time.

Поступила в редакцию 10.05 2012 г.

---