бачев, А. Н. Зейлигер, К. П. Кадомская и др. Л., 1980. 240 с. 3. *Щербина Ю. В., Лепорский В. Д., Жмурко В. А.* Автоматизация управления технологическим расходом и потреблением электроэнергии. К., 1984. 112 с.

Поступила в редколлегию 09.09.85.

УДК 621.311

В. В. ЗУБАШЕНКО, В. У. КИЗИЛОВ, Ю. Н. КОНКЕВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАРМОНИК НА РАБОТУ СИНХРОНИЗАТОРА СА-1

В синхронизаторе с постоянным временем опережения СА-1 имеет место значительная, но не учитывающаяся погрешность угла включения из-за гармоник в синхронизируемых напряжениях [1]. Эта погрешность присуща всем синхронизаторам, в которых для исключения влияния изменений амплитуд синхронизируемых напряжений при получении сигнала, пропорционального углу сдвига их фаз, формируют меандры по моментам перехода через ноль этих напряжений:

$$u_1 = U_{01} \operatorname{sgn} u_{\text{г}}(t), \quad u_2 = U_{02} \operatorname{sgn} u_{\text{с}}(t), \tag{1}$$

где U_{01}, U_{02} — значения стабилизированных амплитуд меандров, $u_{\text{с}}(t)$, $u_{\text{г}}(t)$ — напряжение системы и синхронизируемого с нею генератора или другой системы.

Если искажено только одно напряжение, например $u_{\text{с}}$, одной гармоникой

$$u_{\text{с}} = U_{\text{с}m1} \sin(\omega_{\text{с}} t + \varphi_{\text{с}1}) + U_{\text{с}mn} \sin(n\omega_{\text{с}} t + \varphi_{\text{с}n}),$$

$$u_{\text{г}} = U_{\text{г}m} \sin(\omega_{\text{г}} t + \varphi_{\text{г}}), \tag{2}$$

то при определенных фазовых соотношениях максимальное значение погрешности угла включения β определяется соотношением

$$\beta_{\text{макс}} \approx \sin \beta_{\text{макс}} = U_n^*. \tag{3}$$

Здесь U_n^* — относительное значение погрешности угла включения. При искажении обоих напряжений совокупностью гармоник максимальное значение погрешности находится из очевидных геометрических представлений суммой относительных значений гармоник синхронизируемых напряжений

$$\beta_{\text{макс}} = \sum_{n=2}^{\infty} U_{n\text{с}}^* + \sum_{n=2}^{\infty} U_{n\text{г}}^*, \tag{4}$$

где $U_{n\text{с}}^*$, $U_{n\text{г}}^*$ — относительные значения n-х гармоник синхронизируемых напряжений.

При произвольных фазовых соотношениях значение погрешности угла включения находится между нулем и своим максимальным значением (4). Максимальная погрешность угла включения синхронизатора СА-1 составляет 4° [2]. Из (4) следует, что уже при 3 % гармоник в каждом из напряжений может быть достигнуто предельное значение погрешности только из-за этих искажений.

Нами выполнена работа по экспериментальному подтверждению влияния искажения формы синхронизируемых напряжений в соответствии с (2) при наличии в одном из напряжений третьей гармоники.

Исследование проводили сравнением разности времен передних фронтов импульсов включения двух синхронизаторов СА-1, к которым были подключены синусоидальные напряжения. На один из входов какого-либо синхронизатора последовательно с синусоидальным напряжением подавали синхронизированное с ним напряжение третьей гармоники с регулируемой амплитудой и фазой. Имелась возможность изменять частоты и амплитуды синусоидальных напряжений на входах синхронизаторов.

Синхронизированную третью гармонику выделяли из разности напряжений двух однополупериодных трехфазных выпрямителей, подключенных к трехфазному источнику одного из синусоидальных напряжений через фазорегулятор.

Для произвольного угла φ_{c3} (2) погрешность угла включения при частоте скольжения ω_s с достаточной точностью определится соотношением

$$\beta(\varphi_{c3}) \approx \operatorname{tg}\beta = -\frac{U_3^* \sin\varphi_{c3}}{1 \div 3U_3^* \cos\varphi_{c3}}. \qquad (5)$$

Погрешность включения β измеряли в диапазоне амплитуды третьей гармоники $U_3^* \leqslant 0{,}1$ при изменении частоты скольжения f_s в диапазоне $\pm(0{,}1 \div 1{,}0)$ Гц. Фазовые соотношения гармоник контролировали двухлучевым осциллографом. Максимальное расхождение между экспериментальным значением β и полученным из (5), не превышало 10 % максимального зна-

β	φ_{c3}						
	0	80	60	90	120	150	180
$-\beta_{эксп}$	0	1,8	3,15	3,8	3,50	2,16	0
$-\beta_{теорет}$	0	1,7	3,15	4,01	3,9	2,45	0

чения, определяемого (3), при изменении β от 0° до 180° ($\pm 90°$). Для $f_s = 0{,}5$ Гц, $U_3^* = 0{,}07$ сравнение теоретических и экспериментальных значений погрешности угла включения β представлено в таблице для разных значений угла сдвига третьей гармоники относительно основной.

Некоторое различие экспериментальных и теоретических результатов может быть связано с неучтенными искажениями сетевого напряжения, которое использовалось в качестве напряжения $u_c(t)$.

Выявленное аналитически и подтвержденное экспериментально влияние гармоник на синхронизаторы, действующие аналогично СА-1, приводит к серьезным ограничениям их возможностей и должно быть учтено при нормировании их погрешностей. Это влияние особенно скажется при синхронизации частей энергосистемы, когда искажения обоих напряжений выше, чем при синхронизации генератора с системой. В данных случаях может оказаться перспективным измерительный орган [3]. Ограничение влияния гармоник в СА-1 фильтрацией их на его входах приведет к частотно-зависимым фазовым сдвигам входных напряжений и связанной с ними погрешности. Эффективность такой модернизации СА-1 будет зависеть также от временной стабильности фазовых сдвигов.

Список литературы: 1. *Кизилов В. У., Зубашенко В. В.* Влияние гармоник на работу синхронизаторов//Энергетика и электрификация. 1983. № 1. С. 27—29. 2. *Автоматический* синхронизатор с постоянным временем опережения/ Н. И. Панфилов, В. Г. Пищугин, Е. Л. Сиротинский, В. И. Соковцев//Изв. вузов. Энергетика. 1979. № 12. С. 23—25. 3. *А. с. 1072177 СССР.* Устройство опережения синхронизатора/В. В. Зубашенко, В. У. Кизилов//Бюл. изобрет. 1984. № 5. С. 86.

Поступила в редколлегию 10.03.86.

УДК 621.3

О. И. ИЗМАЙЛОВ, В. И. ГУРЕВИЧ, А. А. РЫБАЛКИН

УКАЗАТЕЛЬ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ ДЛЯ СЕЛЬСКИХ СЕТЕЙ 6—10 кВ

При эксплуатации энергосистем широко применяются различные устройства для определения мест повреждения в воздушных линиях электропередач. Принцип их работы основан на измерении параметров аварийного режима.

По способу отбора информации о возникновении коротких замыканий (к. з.) указатели могут быть разделены на две основные группы. К первой относятся указатели, использующие для отбора информации трансформаторы тока, устанавливаемые в двух фазах линии. Индикатор срабатывания представляет