

НАУЧНЫЕ ЗАМЕТКИ

Ф. А. Григорян

Регистрация угла сдвига фаз между ЭДС  
и напряжением синхронной машины

Одним из основных устройств для исследования устойчивости параллельной работы синхронных генераторов является установка для регистрации величины угла сдвига фаз  $\delta$  между ЭДС— $E$  и напряжением —  $U$ .

Существующие методы измерения угла  $\delta$  сводятся к сочетаниям способов отбора положения или величины вектора  $E$ , со способами определения угла между  $E$  и  $U$ .

Отбор положения вектора  $E$  синхронного генератора производится:

- 1) контактом на валу синхронного генератора [1,4];
- 2) индуктивными датчиками у вала [1];
- 3) вспомогательным генератором на валу [1];
- 4) оптически (на валу диск с прорезью и с фотоэлементом при дистанционном измерении) [1];
- 5) с помощью катушки с реактансом, эквивалентном реактансу генератора, так как  $\bar{E} = \bar{I}x + \bar{U}$ , или  $U \sin \delta = Ix \cos (\varphi + \delta)$ ; здесь  $x$ —эквивалентный реактанс,  $\bar{I}$  и  $\bar{U}$  берутся от трансформаторов тока и напряжения;

6) отбором величины  $E$ , отбором тока возбуждения от шунта в цепи возбуждения генератора, так как

$$\sin \delta = \frac{Ix \cos \varphi}{E}, \text{ а } I_b = E$$

(умножение  $I$  на  $\cos \varphi$  производится вибрационным контактом [3]).

В решениях без приспособления непосредственно на валу входит  $x$ . Непостоянство  $x$  ( $x$  нелинейно зависит от силы тока) приводит к неточности измерения.

Величина угла между векторами определяется:

- 1) по отклонению подвижной инерционной системы, усилие на которой пропорционально произведению или отношению 2-х векторов (логометры, ваттметры, фазометры);
- 2) запирающим напряжением сеткой электронной лампы [2,3];
- 3) закрытием света диском;
- 4) запирающим одним напряжением другим в схемах с сухими выпрямителями [3];

5) запирающим напряжением механическим контактом [1].

Из рассмотренных способов наиболее прост контактный. Контакт одновременно производит отбор положения  $\delta$  и запирает.

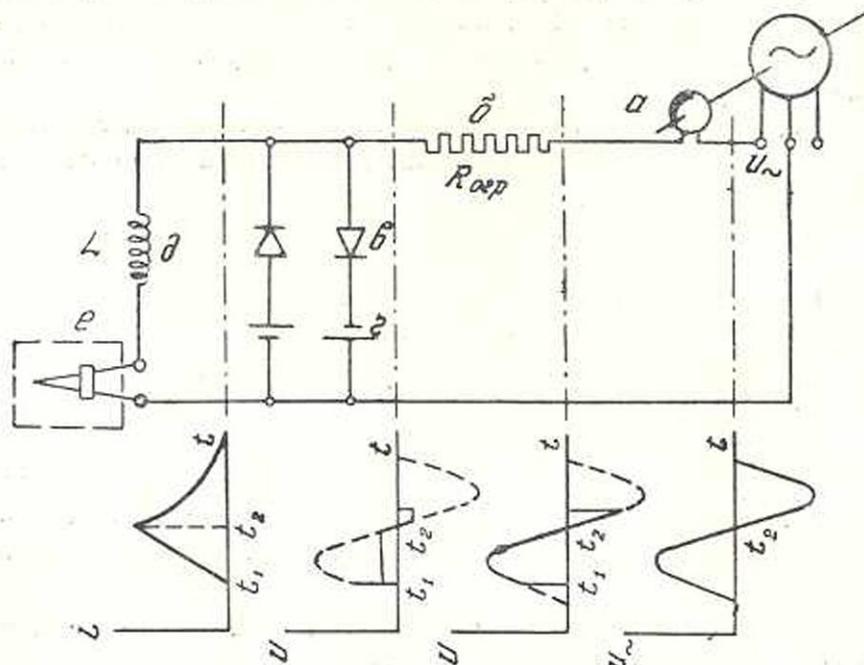
Рассмотрим 2 решения с контактами.

I. С применением шайбы Жубера. Напряжение от выводов статора срезывается контактом на валу; величина напряжения в месте среза пропорциональна углу  $\delta$ .

Недостаток схемы: отсутствие стабилизации напряжения, синусоидальность шкалы.

II. С использованием схемы Гутенмахера [3]. В схеме имеется 3 вибрационных контакта, что весьма нежелательно при эксплуатации.

На фиг. 1 приведена новая схема регистрации угла  $\delta$ .



Фиг. 1. Схема осциллографирования угла  $\delta$  и кривые изменений электрических величин: а—контакт на валу; б—токоограничивающее сопротивление; с—селеновый выпрямитель; з—аккумулятор; д—дроссель; е—осциллограф.

Процесс регистрации состоит из:

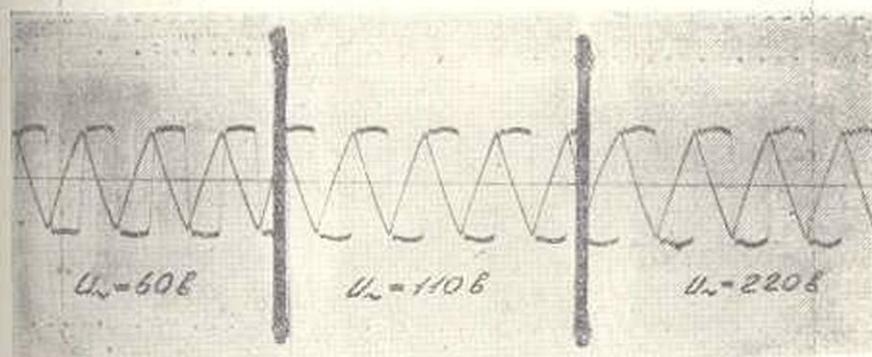
1) срезывания напряжения от выводов статора контактом (а) на его валу в зависимости от угла  $\delta$ ;

2) получения стабилизированного трапециoidalного напряжения. Выпрямители (с) запирают напряжение аккумуляторов (з). При этом соблюдается соотношение:

$$R_{\text{выпр}} + R_{\text{акк}} \ll R_{\text{огр}},$$

где  $R_{\text{выпр}}$  — прямое сопротивление выпрямителя,  
 $R_{\text{акк}}$  — внутреннее сопротивление аккумулятора,  
 $R_{\text{огр}}$  — токоограничивающее сопротивление.

В этом случае дальнейший рост напряжения при  $U_{\infty} = U_{\text{внк}}$  задерживается. При  $U_{\infty} \gg U_{\text{внк}}$  форма кривой напряжения приближается к трапеции (фиг. 1, 2);



Фиг. 2. Оциллограмма тока и напряжения на дросселе без среза контактом  $U_{\infty} = 60\text{в}, 110\text{в}, 220\text{в}$ .

3) получения тока пилообразной формы. Для цепи дросселя

$$U = L \frac{di}{dt} + Ri.$$

Для интервала  $t_1 - t_2$ , соответствующего горизонтальному участку трапеции при  $R \ll L$  и  $t_1 \ll t \ll t_2$ ,

$$U \approx L \frac{di}{dt}, \quad \text{откуда} \quad i \approx \frac{1}{L} \int_{t_1}^t U dt = \frac{U}{L} t \Big|_{t_1}^t.$$

Интегрируя в пределах от  $\omega t_1$  до  $\omega t_2$ , получим:

$$i_{\text{макс}} \approx \frac{U}{\omega L} \delta, \quad \text{так как} \quad \omega t_2 - \omega t_1 = \delta.$$

Таким образом амплитуда пилообразного тока линейно зависит от угла  $\delta$ .

Наличие стабилизации напряжения и большого сопротивления последовательно с контактом устраняет влияние переходного сопротивления контакта.

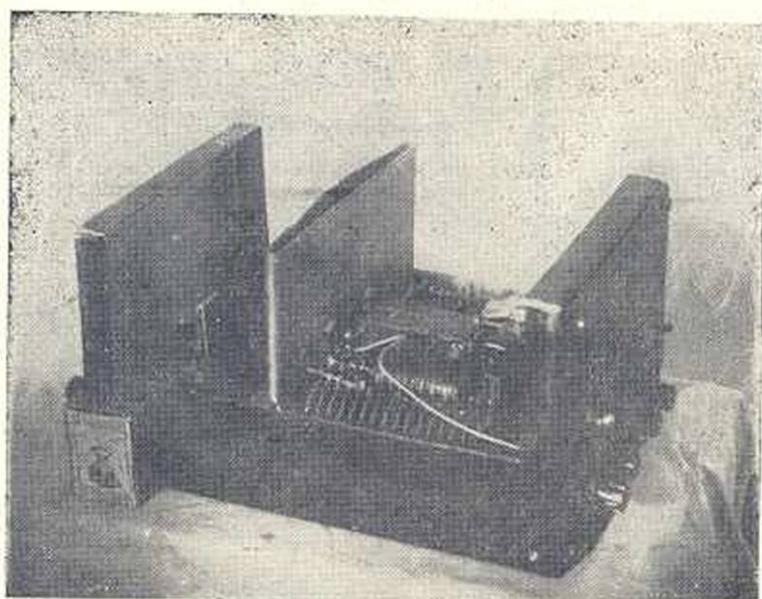
При 2-кратном уменьшении напряжения входа  $U_{\infty}$ , ошибка измерения составляет 4% от шкалы прибора (фиг. 2). Это является следствием, с одной стороны, выпуклости трапециевидного напряжения, так как  $R_{\text{внк}} \neq 0$  и, с другой стороны, изменения угла наклона фронта трапециевидного напряжения.

В предлагаемой схеме отсутствуют указанные недочеты контактных решений: имеется и стабилизация напряжения, линейная шкала, а число контактов — один вместо 3-х.

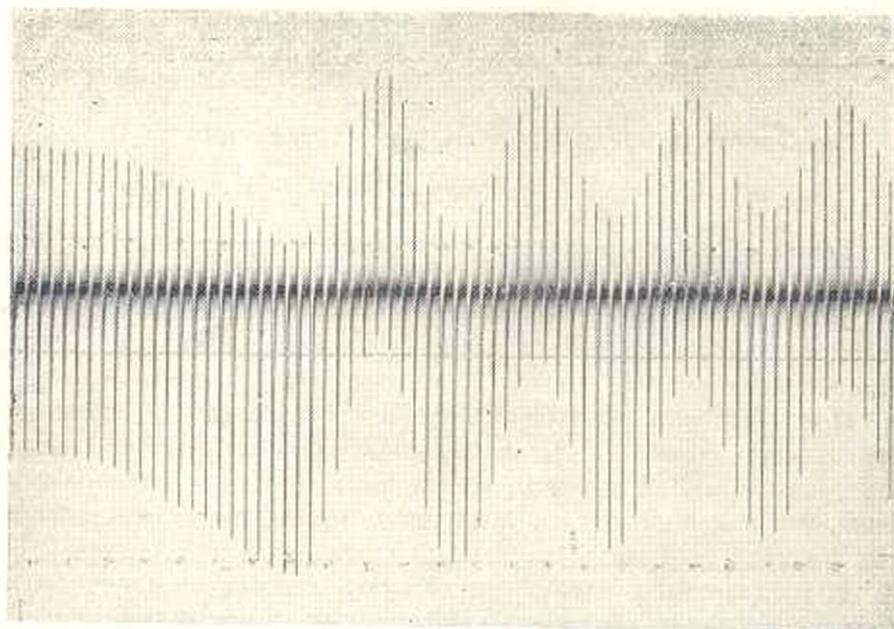
От бесконтактных решений схема отличается простотой исполнения благодаря отсутствию громоздкой аппаратуры.

Предлагаемый способ использован в Лаборатории моделирования гидроэнергосистемы ВЭИ для осциллографирования угла  $\delta$  при экспериментальном изучении переходных процессов.

Тарировочная кривая показала отклонение шкалы от прямолинейности на 3% (угол изменен фазорегулятором).



Фиг. 3. Прибор для регистрации угла  $\delta$ .



Фиг. 4. Осциллограмма изменения угла  $\delta$  синхронного генератора при работе на шины бесконечной мощности. 3-х фазное повторное включение.

На фиг. 3 показан прибор для регистрации угла  $\delta$ , на фиг. 4 приведена осциллограмма, снятая этим прибором.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Веников В. А. Применение теории подобия и физическое моделирование. Госэнергоиздат, 1949.
2. Сборник трудов Института эл. техники Академии наук УССР, в. 4, 1949.
3. Гутенмахер Л. П. „Электричество“, № 20, 1937.
4. Бобов К. С. „Электричество“, № 20, 1937.

Ճ. Ն. Գրիգորյան

ՄԻՆԻՐՈՆ ՄԵՔԵՆԱՅԻ ԷԼԵԿՏՐՈՇԱՐԺ ՈՒԺԻ ԵՎ ԼԱՐՄԱՆ ՄԻՋԵՎ  
ՖԱԶԱՅԻՆ ՇԵՂՄԱՆ ԱՆԿՅԱՆ ԳՐԱՆՑՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հոդվածում նկարագրված է սինխրոն մեքենայի էլեկտրաշարժ ուժի  
և լարման շեղման ծանկյան գրանցման նոր մեթոդ:

Ծանկյունը սեղգաբծորեն արտանայտվում է նոսանքով, որը գրանց-  
վում է օպտիկոգրաֆի միջոցով:

