



УДК 621.313.32; 681.7.068.

**ЛЕВИЦКИЙ А.С.**, канд. техн. наук,  
Ин-т электродинамики НАН Украины, г. Киев

## ИЗМЕРИТЕЛЬ БИЕНИЙ ВАЛА ГИДРОГЕНЕРАТОРА С ПОМЕХОЗАЩИЩЕННЫМ ТРАКТОМ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛА

**И**нформационно-измерительные системы (ИИС) являются одной из главных составных частей систем контроля и диагностики мощных гидро- и турбогенераторов. В ИИС измеренная информация с помощью линий связи от сенсоров передается к устройствам обработки сигналов. Эти линии связи в основном представляют собой экранированные кабели из металлических проводников, которые собираются во время монтажа на машине в многопроводные жгуты. В этих же жгутах присутствуют проводники, обеспечивающие работу устройств управления, аварийной защиты и т.д. Все это вносит помехи в каналы измерения, способствует электромагнитным наводкам в экранах и приводит к необходимости создания специальных контуров заземления.

**Использование волоконно-оптических информационно-измерительных систем (ВОИИС)** для измерения физических величин, в которых параметр измеряется и преобразуется в оптический сигнал с помощью волоконно-оптического сенсора (ВОС) и передается для регистрации и обработки с помощью волоконно-оптического кабеля (ВОК), позволит устранить вышеуказанные недостатки. Кроме этого, применение ВОК позволит значительно увеличить длину линий связи между сенсорами и вторичными преобразователями [3].

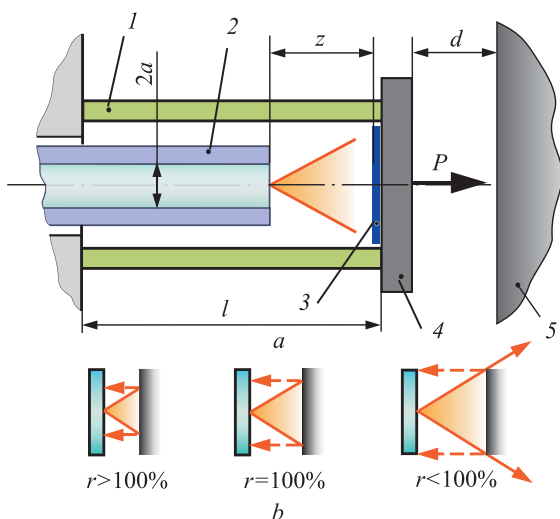


Рис. 1. Схема волоконно-оптического сенсора биений (а) и оптическая мощность отраженного света (б).

В данной работе предлагается новый волоконно-оптический измеритель биений вала мощного гидрогенератора.

В основе принципа действия волоконно-оптического измерителя биений положена зависимость коэффициента отражения света в сенсорном элементе от величины биений вала (Рис.1).

Оптическая схема сенсорного элемента включает в себя: трубчатый корпус 1, один из торцов которого жестко соединен с неподвижной частью генератора; световод 2, служащий для приема и передачи излучения; зеркало 3, расположенное на расстоянии  $z$  от торца световода; постоянный магнит 4, жестко связанный с корпусом 1 и зеркалом 3. Магнит 4 расположен на некотором расстоянии  $d$  от вала 5, биение которого контролируется. Так как магнит 4 неподвижен, то вращение вала 5, имеющего биение, вызовет изменение расстояния  $d$ . Разница между наибольшим и наименьшим расстоянием, измеренным за один оборот вала 5, определит величину биения.

Магнит 4 притягивается к валу 5 с некоторым усилием  $P$ , величина которого зависит от расстояния  $d$  между торцом магнита и валом

$$P = kd, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности.

Коэффициент  $k$  зависит от материала и намагниченности самого магнита, его геометрических размеров.

В свою очередь, усилие  $P$ , приложенное к корпусу 1, вызовет растяжение трубчатого участка корпуса длиной  $l$  на величину  $\Delta l$

$$\Delta l = Pl/ES, \quad (2)$$

где  $E$  – модуль упругости материала корпуса 1;  $S$  – площадь поперечного сечения трубчатого участка корпуса.

Так как корпус 1, зеркало 3 и магнит 4 жестко соединены между собой, то на такую же величину  $\Delta l$  изменится и расстояние  $z$ .

Как известно [1], при допущении, что коэффициент отражения от зеркала равен 100%, а отражением от торца световода можно пренебречь, доля оптической мощности  $r$  (Рис. 1, б), поступающая обратно в световод после отражения от зеркала, равна



$$r = 2/\pi [1/p^2 \arcsin(p/2) + 2\arccos\{(p + 2)^{1/2}/2\} - \{(p^2 + 2)(4 - p^2)\}/8p], \quad (3)$$

где  $p = 2 \cdot NA \cdot z/a$ ;  $NA$  – числовая апертура, характеризующая расходимость света на выходе из световода;  $a$  – радиус сердцевины световода (Рис. 1).

Числовая апертура  $NA$  волокна – это синус максимального угла падения луча по отношению к оси волокна (синус максимального входного угла оптоволокна), при котором свет входит в сердцевину и далее распространяется по волокну [2].  $NA$  определяется как разница показателей преломления сердцевины и оболочки,

$$NA = \frac{1}{\eta_0} \sqrt{\eta_1^2 - \eta_2^2}, \quad (4)$$

где  $\eta_0$  – показатель преломления окружающей среды (для воздуха  $\eta_0 = 1$ );  $\eta_1$  – показатель преломления волокна сердцевины;  $\eta_2$  – показатель преломления волокна оболочки.

Для одномодового волокна значение  $NA$ , как правило, порядка 0,1, но может варьироваться в пределах примерно от 0,05 до 0,4. Многомодовые волокна обычно имеют более высокую числовую апертуру, например, 0,3. Более высокие значения  $NA$  возможны для фотоннокристаллических волокон.

Уравнения (1)–(4) определяют функцию преобразования оптического сенсора.

В работе [1] показано, что зависимость оптической мощности отраженного света  $r$  от расстояния  $z$  между торцом световода и зеркалом  $r = f(z)$  в интервале значений  $a < r < 3a$ , где  $a$  – радиус сердцевины оптического волокна, близка к линейной. Это обстоятельство необходимо учитывать при проектировании сенсора.

На Рис. 2 показана структурная схема всего измерителя, который состоит из волоконно-оптического сенсора 1, волоконно-оптического кабеля 2, волоконно-оптического разветвителя 3, светового диода 4, фотоприемного устройства 5, индикатора 6 и контролируемого вала 7.

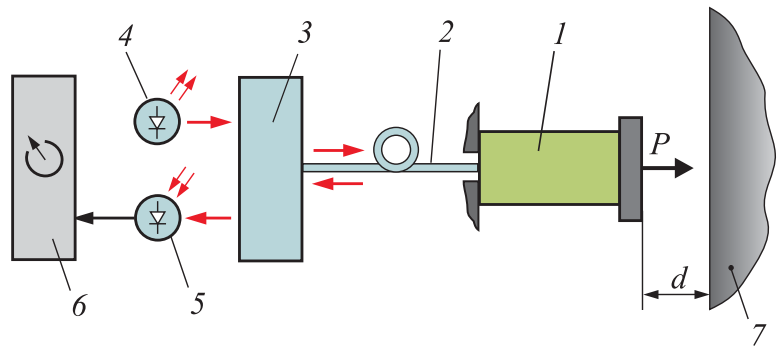


Рис. 2. Схема волоконно-оптического измерителя биений

Устройство работает следующим образом:

От лазерного светоизлучающего диода 4 через волоконно-оптический разветвитель 3 и волоконно-оптический кабель 2 на вход волоконно-оптического сенсора 1 поступает световой сигнал. Сигнал отраженного света, пропорциональный расстоянию  $z$  и, соответственно, расстоянию  $d$  между сенсором 1 и валом 7, с выхода сенсора 1 через кабель 2, разветвитель 3 поступает на фотоприемное устройство 5. Преобразованный в электрическое напряжение этот сигнал усиливается и подается на вход индикатора 6.

Все компоненты схемы измерителя являются типовыми (кроме сенсора) и серийно выпускаются различными фирмами.

### Выводы

Предложенный измеритель может найти применение для контроля биений валов в мощных гидрогенераторах при воздействии сильных электромагнитных полей, загрязнении среды парами масла и воды, а также пылью.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Неугодников А., Поспелов В. Волоконно-оптический датчик деформации // Электроника. Наука. Технология. Бизнес. – 2006. – № 1. – С. 74–75.
2. Числовая апертура оптоволокна. [http://laser-portal.ru/-content\\_626/](http://laser-portal.ru/-content_626/).
3. Левицкий А.С., Федоренко Г.М. Повышение надежности, безопасности эксплуатации мощных гидрогенераторов путем использования волоконно-оптических информационно-измерительных систем./Гидроэнергетика Украины. – 2011. – №3-4. – С. 18-22.

© Левицкий А.С., 2012

