

## К. П. Д. МОДУЛЯЦИОННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ АВТОНОМНЫХ ИСТОЧНИКОВ СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ

В. А. ДЕНИСОВ, Ш. С. РОИЗ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и аппаратов  
и общей электротехники)

Разработка автономных источников стабильной частоты с предварительной амплитудной модуляцией выходного напряжения в электромашином генераторе невозможна без оценки коэффициента полезного действия модуляционного преобразователя, являющегося основной силовой частью источника. Особенность определения к. п. д. таких преобразователей состоит в том, что глубина предварительной модуляции может быть различной.

Рассмотрим модуляционный преобразователь автономного источника, изображенный на рис. 1. Принцип работы преобразователя состоит в следующем. При питании обмотки возбуждения генератора постоянным и переменным синусоидальным токами на выходной обмотке  $W_2$  создается модулированное напряжение. Глубина амплитудной модуляции ( $a$ ) определяется соотношением токов в обмотке  $W_1$ . Значительная модуляция выходного напряжения генератора производится посредством выпрямителя, который в такт с переменным током обмотки  $W_1$  образует на выходе положительные и отрицательные полуволны напряжения. На рис. 2а показан характер изменения индукции и напряжения на выходе синхронного генератора, а на рис. 2б — характер изменения напряжения на выходе выпрямителя. Для упрощения графического построения синусоидальная форма несущей частоты заменена на треугольную.

В соответствии с рис. 1 к. п. д. модуляционного преобразователя можно выразить через произведение к. п. д. входящих в него элементов

$$\eta = \eta_{\text{сг}} \eta_{\text{в}} \eta_{\text{ф}} \quad (1)$$

В общем случае к. п. д. синхронного генератора может быть определен по формуле

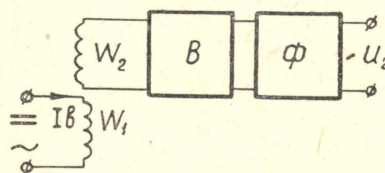


Рис. 1. Модуляционный преобразователь автономного источника стабильной частоты: СГ — однофазный синхронный генератор; В — полупроводниковый управляемый двухполупериодный выпрямитель; Ф — фильтр

$$\eta_{\text{сг}} = \frac{1}{\frac{P_{\text{мх}}}{P_2} + \frac{\Sigma P}{P_2} + i}, \quad (2)$$

где

$P_{\text{мх}}$  — механические потери в генераторе;

$\Sigma P$  — потери в меди и стали генератора;

$P_2$  — мощность на выходе генератора.

При отсутствии модуляции в генераторе, т. е. при  $a=0$ , имеем

$$\Sigma P_{(a=0)} = P_{\text{м1}} + P_{\text{м2}} + P_{\text{с2}}. \quad (3)$$

или

$$\Sigma p_{(a=0)} = I_0^2 r_1 + \frac{U_m^2}{2r_2} + \frac{B_m^2}{2} \varepsilon, \quad (3a)$$

где

$p_{\text{м1}} = I_0^2 r_1$  — потери в меди ротора;

$p_{\text{м2}} = \frac{U_m^2}{2r_2}$  — потери в меди статора;

$p_{\text{с2}} = \frac{B_m^2}{2} \varepsilon$  — потери в стали статора;

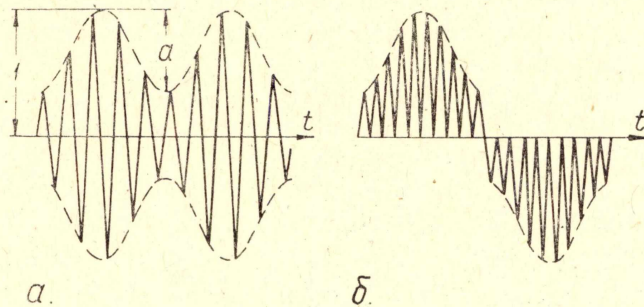


Рис. 2. Выходные функции модуляционного преобразователя: а — изменение индукции и выходного напряжения синхронного генератора; б — изменение выходного напряжения выпрямителя

$\varepsilon$  — коэффициент, учитывающий удельные потери, частоту перемагничивания, вес и марку стали статора. При наличии модуляции, т. е. при  $a \neq 0$ , получаем

$$\Sigma p_{(a \neq 0)} = I_0^2 r_1 \left[ (1 - 0,5 a)^2 + \frac{a^2}{8} \right] + \frac{U_m^2}{r_2} F^2 + B_m^2 \varepsilon F^2 + I_0^2 \frac{a^2}{8} \xi. \quad (4)$$

Здесь

$$F = \sqrt{\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} [(1 - 0,5 a - 0,5 a \cos 2 \omega t) \sin k \omega t]^2 d \omega t} = \frac{(1 - 0,5 a)^2}{2} + \frac{a^2}{16}$$

эффективное значение выходной функции (рис. 2 а);

$\xi$  — коэффициент, учитывающий удельные потери, марку стали,

частоту перемагничивания, параметры обмотки и геометрию ротора. Сравнивая между собой выражения (3а) и (4), находим

$$\Sigma p_{(a \neq 0)} = 2F^2 \Sigma p_{(a=0)} + I_g^2 \frac{a^2}{8} \xi. \quad (5)$$

Принимая во внимание, что выходная мощность генератора при модуляции также связана с эффективным значением выходной функции

$$P_{2(a \neq 0)} = 2F^2 P_{2(a=0)} \quad (6)$$

и подставляя (5) и (6) в (2), получаем окончательное выражение для к. п. д. синхронного генератора

$$\eta_{cr} = \frac{1}{\frac{p_{MX}}{2F^2 P_{2(a=0)}} + \frac{\Sigma p}{P_{2(a=0)}} + \frac{I_g^2 a^2 \xi}{16F^2 P_{2(a=0)}}}. \quad (7)$$

По уравнению (7) для макетного образца, выполненного на основе серийного преобразователя ПТО-700, произведен расчет к. п. д. синхронного генератора при изменении глубины предварительной модуляции (кривая 1, рис. 3). Анализ полученных результатов показывает, что с увеличением глубины модуляции к. п. д. синхронного генератора снижается вследствие относительного увеличения доли механических потерь и появления потерь в стали ротора. Однако это снижение незначительно, так как частота перемагничивания стали ротора намного меньше частоты перемагничивания стали статора

$$(k = \frac{f_1}{f_2} = 7 \div 10).$$

В связи с тем, что потери в выпрямителе малы, принимаем  $\eta_g = 1$ .

К. п. д. фильтра находим через коэффициент искажения кривой напряжения на выходе выпрямителя (рис. 2б) [1]. Для этого необходимо провести гармонический анализ указанной кривой и найти относительные значения высших гармонических

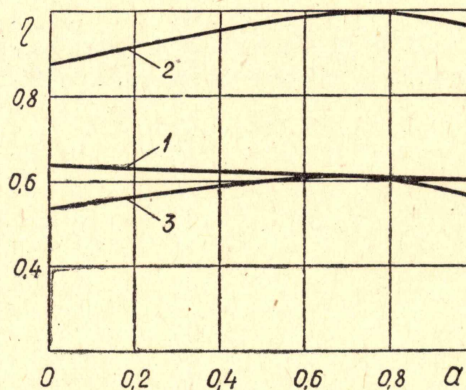


Рис. 3. Зависимость к. п. д. модуляционного преобразователя и его элементов от глубины предварительной модуляции: 1 — синхронного генератора; 2 — фильтра; 3 — модуляционного преобразователя

$$\eta_{\Phi} = \frac{1}{\sum_{n=1}^{\infty} \left[ \frac{b_{(2n-1)}}{b_1} \right]^2} \quad (8)$$

Здесь

$$\frac{b_{(2n-1)}}{b_1} = \frac{3}{2} \cdot \frac{(2-a)[(2n-1)^2-4] - a(2n-1)^2}{(2n-1)[(2n-1)^2-4](3-a)}$$

относительные значения высших гармонических и  $n$  — порядковый номер гармоники.

На рис. 3 (кривая 2) приведена зависимость к. п. д. фильтра от глубины предварительной модуляции, построенная на основании (9).

На графике максимум к. п. д. фильтра соответствует отсутствию в гармоническом спектре выходного напряжения 3-й гармоники.

Подставляя (7) и (8) в (2), можно получить значения к. п. д. модуляционного преобразователя при изменении глубины предварительной модуляции (рис. 3, кривая 3).

### Выводы

1. К. п. д. модуляционного преобразователя в автономных источниках стабильной частоты с предварительной амплитудной модуляцией в синхронном генераторе стремится к номинальному значению к. п. д. синхронного генератора.

2. В модуляционном преобразователе к. п. д. синхронного генератора с увеличением глубины предварительной амплитудной модуляции снижается незначительно.

### ЛИТЕРАТУРА

1. В. М. Грико. К вопросу о к. п. д. модуляционных преобразователей частоты. Известия вузов, «Энергетика», № 4, 1967.

---