

ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ФЕРРОРЕЗОНАНСНОГО СТАБИЛИЗАТОРА МЕТОДОМ КРУТОГО ВОСХОЖДЕНИЯ

А. С. ГИТМАН, Е. С. ГИТМАН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Простота устройства, отсутствие специальных органов управления, «жесткие» внешняя и нагрузочная характеристики при практически синусоидальном напряжении обусловили широкое использование феррорезонансных стабилизаторов в технике, особенно в стационарной аппаратуре. Обладая рядом преимуществ, феррорезонансные стабилизаторы имеют значительный вес на единицу мощности. Например, для телевизионных стабилизаторов вес на единицу мощности достигает 70 кг/квт. Опыт проектирования феррорезонансных стабилизаторов показал, что указанный недостаток может быть в значительной степени устранен. В данной работе сделан выбор оптимальных параметров стабилизатора применительно к максимуму отдаваемой мощности. Рассмотренная методика может быть использована для выбора параметров феррорезонансного стабилизатора при других критериях оптимальности.

Расчет оптимального феррорезонансного стабилизатора связан с необходимостью иметь достаточно точную математическую модель происходящих физических явлений. Нелинейная индуктивность, обеспечивающая вместе с другими реактивными элементами феррорезонансный эффект стабилизации, является генератором высших гармоник, учет которых затруднен. Использование гармонического анализа [2] не дает положительных результатов из-за сложности математических выражений.

Выбор оптимальных параметров феррорезонансного стабилизатора может быть произведен на основе математической теории эксперимента [3], которая позволяет получить зависимость оптимизируемого параметра от независимых переменных при сравнительно небольшом числе опытных данных.

Уравнения, полученные методами математической теории эксперимента, представляют уравнения регрессии и имеют вид

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (1)$$

где

x_i ($i=1, 2 \dots j, \dots k$) — независимые переменные, варьируемые при постановке эксперимента;

y — результат опыта;

b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij} — коэффициенты регрессии, вычисляемые по данным эксперимента.

Сочетание переменных для проведения эксперимента задается матрицей планирования.

Постановка задачи

В самом общем виде схема феррорезонансного стабилизатора показана на рис. 1. На рис. 1 приняты обозначения:

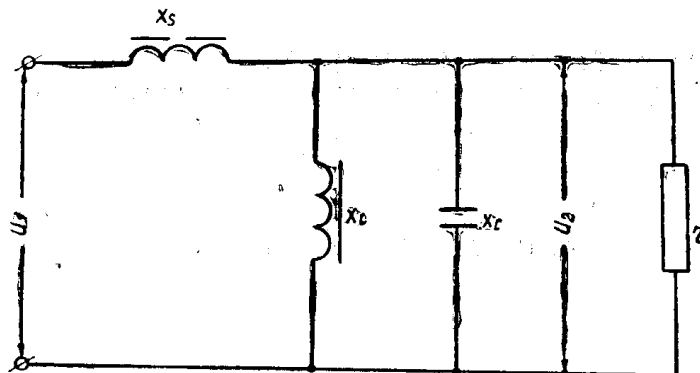


Рис. 1. Схема феррорезонансного стабилизатора.

U_1 — входное напряжение;
 U_2 — выходное напряжение;
 x_L — индуктивное сопротивление обмотки нелинейного (насыщенного) дросселя;
 x_C — сопротивление конденсатора емкостью C ;
 x_S — сопротивление обмотки линейного (ненасыщенного) дросселя.
 Пусть заданы:
 выходная мощность $P = 100$ вт;
 нагрузка активная;

$$U_1 = 220 \begin{matrix} + 20 \\ - 80 \end{matrix} \text{ в};$$

$$U_2 = 220 \begin{matrix} + 12 \\ - 12 \end{matrix} \text{ в};$$

$$f = 50 \text{ гц.}$$

Насыщенный дроссель выполнен на тороидальном сердечнике.

Расчет по методике [1] дал следующие значения параметров стабилизатора:

геометрические размеры насыщенного сердечника — 128/80—40;
 $w = 580$ — число витков насыщенного дросселя.

Покажем, что при неизменных геометрических размерах насыщенного сердечника и числа витков можно значительно увеличить выходную мощность стабилизатора за счет оптимального соотношения между x_S и C .

Так как рабочая точка феррорезонансного стабилизатора находится на насыщенном участке кривой намагничивания, то номинальное значение выходного напряжения $U_{2н}$ мало зависит от изменения x_S и C . В дальнейшем будем считать

$$U_{2н} = \text{const.} \quad (2)$$

При увеличении нагрузки вначале нарушается нижняя граница допустимого значения выходного напряжения $U_{2 \text{ min}}$, которая достигается при минимальной величине входного напряжения $U_{1 \text{ min}}$.

Таким образом, поставленная задача заключается в максимизации функции

$$P = P(x_s, C) \quad (3)$$

при ограничении

$$U_2(U_{1\min}, P) = U_{2\min}. \quad (4)$$

Применение математической теории эксперимента к выбору оптимальных значений x_s и C

Для получения функции (3) воспользуемся планированием первого порядка. Матрица планирования представлена в табл. 1.

Таблица 1

№ эксперимента	x_1	x_2	$x_1 x_2$	y
1	-1	-1	+1	138,5
2	+1	-1	-1	154
3	-1	+1	-1	128
4	+1	+1	+1	139,5

В табл. 1 приняты обозначения:

x_1 — величина C , мкф;

x_2 — величина x_s , ом;

y — результаты эксперимента (отдаваемая мощность в вт).

Интервалы варьирования независимых переменных и основной уровень даны в табл. 2. Принятые значения переменных для основного уровня позволяют избежать автоколебаний.

Таблица 2

	x_1	x_2
Основной уровень	20	200
Интервалы варьирования	2	10
Верхний уровень	22	210
Нижний уровень	18	190

Коэффициенты регрессии рассчитываются по известной формуле [3]

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^N \bar{x}_{iu} Y_u}{N}, \quad (5)$$

где \bar{x}_{iu} — кодовое значение переменного или сочетания переменных;

i — индекс переменного;

u — порядковый номер эксперимента.

Коэффициенты регрессии, полученные в результате первой серии экспериментов, равны

$$b_1 = 6,75; b_2 = -8,25; b_{12} = -0,75.$$

Коэффициент при парном взаимодействии на порядок ниже коэффициентов при линейных членах. Это обстоятельство позволяет воспользоваться методом крутого восхождения.

В табл. 3 показаны результаты крутого восхождения. Для удобства шаги по переменным округлены.

Таблица 3

	x_1	x_2	y
Основной уровень	20	200	
Интервал варьирования	2	10	
Коэффициент регрессии	6,75	-8,25	
Шаг	13,5	-82,5	
Округленный шаг	14	-85,5	
Реализованный опыт	34	114,5	242
Реализованный опыт	48	29	автоколебания

В точке, соответствующей $x_1=48$ мкф, $x_2=29$ ом, наблюдался режим автоколебаний. Поэтому была поставлена новая серия экспериментов, где за основной уровень приняты значения переменных в предыдущем опыте. Результаты сведены в табл. 4. Коэффициент взаимодействия во второй серии экспериментов равняется $b_{12} = -0,75$.

Таблица 4

	x_1	x_2	y
Основной уровень	34	115	
Интервал варьирования	2	3	
Верхний уровень	36	118	
Нижний уровень	32	112	
Коэффициент регрессии	3,25	-3,75	
Шаг	6,5	-11,25	
Округленный шаг	6	-10,4	
Реализованный опыт	40	104,6	268
»	46	94,2	310
»	52	83,8	334
»	58	73,4	384
»	64	63	450
»	70	52,6	480
»	76	42,2	474

Как видно из табл. 4, в предпоследнем опыте достигнуто экстремальное значение отдаваемой мощности. В результате крутого восхождения мощность, отдаваемая феррорезонансным стабилизатором, увеличилась почти в пять раз по сравнению с исходной.

Выводы

Применение математической теории эксперимента показало, что существующая теория и методика расчета феррорезонансного стабилизатора не учитывают сложности физических явлений, и поэтому необходима их корректировка.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Г. Лурье. Теория феррорезонансных стабилизаторов напряжения, Госэнергоиздат, 1958.
2. Л. А. Бессонов. Нелинейные электрические цепи, Высшая школа, 1964.
3. В. В. Налимов, Н. А. Чернова. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов, Наука, 1964.