

АВТОМАТИЗАЦИЯ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

С. И. Кицис, Д. Н. Паутов

СТАБИЛИЗАЦИЯ СВАРОЧНОГО ТОКА АСИНХРОННОГО САМОВОЗБУЖДАЮЩЕГОСЯ ГЕНЕРАТОРА С ПОМОЩЬЮ ДРОССЕЛЬНОГО МАГНИТНОГО УСИЛИТЕЛЯ

Предложен способ плавной стабилизации сварочного тока самовозбуждающегося асинхронного сварочного генератора. Он заключается в воздействии сварочным током по цепи обратной связи через дроссельный магнитный усилитель на цепь возбуждения сварочного генератора. Дан пример расчета регулирующего воздействия.

К настоящему времени предложен ряд схем сварочных генераторов на базе асинхронного самовозбуждающегося генератора. Общим недостатком этих схем является отсутствие возможности плавной стабилизации сварочного тока. Любое регулирование возможно только путем ступенчатых, а значит, скачкообразных изменений возбуждающей емкости [1]. Поэтому задача создания сварочного генератора, обеспечивающего плавную стабилизацию сварочного тока, весьма актуальна.

Авторами предложен новый принцип регулирования тока возбуждения асинхронного сварочного генератора, основанный на частичной компенсации емкости возбуждения параллельно включенной индуктивностью [2].

Для того чтобы представить суть данного предложения, рассмотрим электрическую схему стабилизированного генератора (рис. 1).

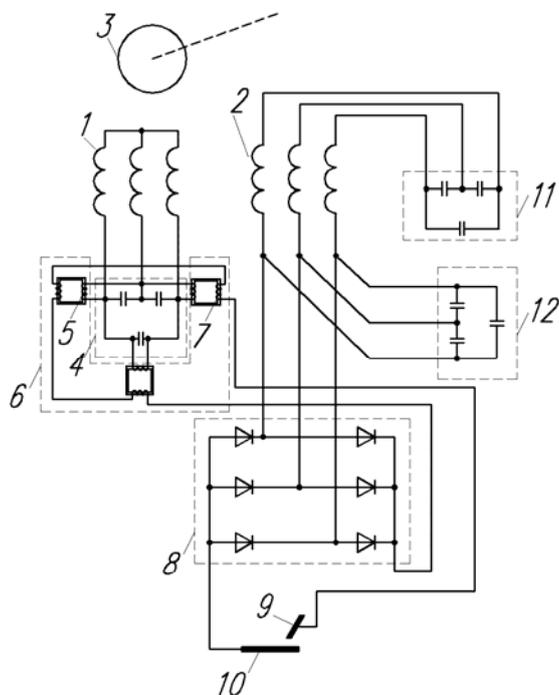


Рис. 1. Схема стабилизированного асинхронного сварочного генератора

В каждый паз асинхронного сварочного генератора уложены вначале обмотка возбуждения 1, а затем рабочая обмотка 2 (рис. 1). Это делается для достижения максимальной магнитной связи между обмотками и тем самым — максимального использования потока возбуждения, создаваемого обмоткой возбуждения. Соотношение чисел витков обмотки возбуждения и рабочей обмотки определяется необходимостью обеспечения требуемого выходного напряжения сварочного генератора. Обмотка короткозамкнутого ротора 3 генератора выполнена в виде «беличьей» клетки. К фазам обмотки возбуждения присоединены конденсаторы возбуждения 4, соединенные в треугольник. Параллельно фазам конденсаторов возбуждения присоединены рабочие обмотки 5 дроссельных магнитных усилителей 6. Обмотки управления 7 дроссельных магнитных усилителей соединены последовательно, причем один выход трехфазного мостового выпрямителя 8 присоединен к входу обмотки управления 7 первого усилителя, а выход обмотки управления 7 третьего магнитного усилителя соединен со сварочным электродом 9. Второй выход выпрямителя соединен со свариваемой деталью 10. Фазы рабочей обмотки 2 с одной стороны подключены к компаундирующим конденсаторам 11, соединенным в треугольник, а с другой — к шунтирующим конденсаторам 12 и входу трехфазного мостового выпрямителя.

Генератор работает следующим образом. При включении первичного двигателя генераторной установки ротор 3 генератора начинает вращаться (рис. 1). Поток остаточного намагничивания ротора $\Phi_{ост}$ наводит электродвижущие силы в фазах обмотки возбуждения 1 статора $E_{ост}$. Под действием этих электродвижущих сил в конденсаторах возбуждения возникает емкостной ток \dot{I}_C , а в фазах рабочих обмоток дроссельных магнитных усилителей — индуктивные токи \dot{I}_L . Суммарные результирующие токи $\dot{I}_{рез}$ протекают в фазах обмотки возбуждения генератора, создавая поток возбуждения Φ_1 , который суммируется с потоком остаточного намагничивания, что приводит к увеличению электродвижущих сил, наводимых в фазах данной обмотки. Увеличение электродвижущих сил E_μ генератора приводит к увеличению тока возбуждения \dot{I}_B и дальнейшему лавинообразному нарастанию магнитного потока. Последовательность этого явления показана стрелками на рис. 2. Нарастание электродвижущих сил завершается при насыщении генератора в точке пересечения характеристики 1 намагничивания генератора $E_{ген} = f(I_{рез.возб})$ и суммарной вольтамперной характеристики 4 конденсаторов и рабочей обмотки дроссельного магнитного усилителя. Как видно из рис. 2, суммарная кривая 4 имеет практически вертикальный участок в рабочем диапазоне сварочного напряжения со стабилизированным током обмотки возбуждения сварочного генератора.

Одновременно в рабочей обмотке генератора устанавливается рабочее напряжение в соответствии с соотношением числа витков рабочей обмотки и обмотки возбуждения, поскольку эти обмотки находятся в жесткой трансформаторной связи.

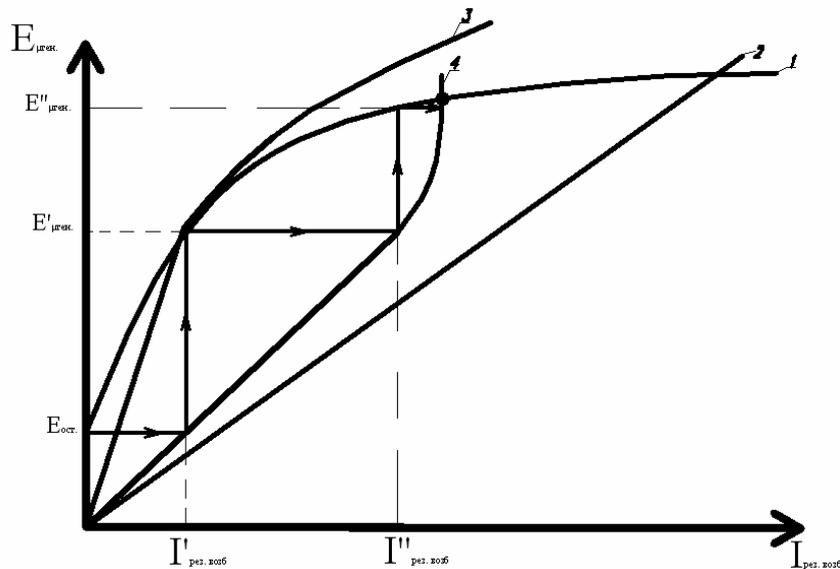


Рис. 2. Графическое описание процесса работы генератора:
 1 — кривая намагничивания генератора $E_{\text{ген}} = f(I_{\text{рез.возб}})$; 2 — вольтамперная характеристика конденсаторов возбуждения; 3 — вольтамперная характеристика дроссельного магнитного усилителя; 4 — результирующая вольтамперная характеристика параллельного соединения конденсаторов возбуждения и рабочей обмотки дроссельного магнитного усилителя, полученная вычитанием абсцисс вольтамперной характеристики 2 конденсаторов возбуждения и вольтамперной характеристики 3

Стабилизация сварочного тока осуществляется следующим образом. При возбуждении сварочной дуги сварочный ток максимален и начинает течь по обмоткам управления 7 дроссельных магнитных усилителей 6 и далее через трехфазный мостовой выпрямитель в фазы рабочей обмотки генератора. Из-за возникающего падения напряжения в цепи рабочей обмотки генератора, выходное напряжение выпрямителя начинает уменьшаться, что приводит к уменьшению сварочного тока. Это в свою очередь приводит к уменьшению насыщения железа дроссельных магнитных усилителей. Индуктивное сопротивление рабочих обмоток магнитных усилителей возрастает, а проводимости уменьшаются, и соответственно уменьшается индуктивная составляющая \dot{I}_L тока параллельного соединения конденсаторы возбуждения — рабочая обмотка дроссельного магнитного усилителя. Соответственно часть емкостного тока \dot{I}_C конденсаторов возбуждения остается некомпенсированной и результирующий ток $\dot{I}_{\text{рез}}$ параллельного соединения конденсаторы возбуждения — рабочая обмотка дроссельного магнитного усилителя приобретает более емкостной характер. Это вызывает рост магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения сварочного генератора, возрастание выходного напряжения рабочей обмотки генератора и соответственно тенденцию роста сварочного тока. Все описанное приводит к стабилизации сварочного тока.

Основные расчетные выражения приведены далее.

Ток через рабочую обмотку дроссельного магнитного усилителя равен:

$$\dot{I}_L = \dot{U}_{\text{возб.ген}} \cdot b_L, \text{ A}, \quad (1)$$

где $\dot{U}_{\text{возб.ген}}$ — напряжение переменного тока на входе рабочей обмотки генератора, В;

$b_L = -j \frac{1}{\omega L}$ — индуктивная проводимость рабочей обмотки магнитного усилителя, Om^{-1} ;

$\omega = 2\pi f$ — круговая частота, Гц;

f — частота колебаний в обмотке возбуждения сварочного генератора, Гц;

$L = \mu \cdot w^2 \cdot f(g_i)$ — индуктивность рабочей обмотки магнитного усилителя, Гн,

где μ — магнитная проницаемость магнитного усилителя, Гн/м;

w — количество витков рабочей обмотки магнитного усилителя;

g_i — геометрические размеры магнитного усилителя.

При этом влиянием активной проводимости обмоток усилителя, которая гораздо меньше, чем индуктивная, чтобы не затемнять картины, пренебрегаем.

Ток через емкость конденсаторов возбуждения:

$$\dot{I}_C = \dot{U}_{\text{возб.ген}} \cdot b_C, \text{ A}, \quad (2)$$

где $b_C = j\omega C$ — проводимость фазы конденсаторов возбуждения, Om^{-1} ;

C — емкость фазы конденсаторов возбуждения, Ф.

Результирующий ток, затекающий в фазы обмотки возбуждения:

$$\dot{I}_{\text{рез}} = \dot{I}_C + \dot{I}_L = \dot{U}_{\text{возб.ген}} \cdot j \left(\omega C - \frac{1}{\omega L} \right), \text{ A}. \quad (3)$$

Из соотношения (3) наглядно видно, что при увеличении индуктивности рабочей обмотки дроссельного магнитного усилителя, в момент падения сварочного тока и возрастания выходного напряжения, результирующий ток $\dot{I}_{\text{рез}}$ возрастает, стремясь увеличить рабочий магнитный поток $\dot{\Phi}_{\text{рез}}$ машины. Увеличение же выходного рабочего напряжения генератора $\dot{U}_{\text{ген}}$ при уменьшении выходного тока связано с известным свойством трансформатора, когда ток вторичной обмотки трансформатора, в данном случае ток рабочей обмотки генератора, находится почти в противофазе с током первичной обмотки — в данном случае обмотки возбуждения. Величина емкости C фазы обмотки возбуждения конденсаторов возбуждения подбирается из расчета обеспечения необходимого выходного напряжения генератора $\dot{U}_{\text{ген}}$ на входе трехфазного мостового выпрямителя.

Приведем пример.

Пусть напряжение на обмотке возбуждения сварочного генератора в режиме холостого хода $U_{\text{возб.ген}} = 220$ В, емкость возбуждения $C = 184$ мкФ на фазу (при соединении фаз в треугольник). Характеристика намагничивания

дроссельного магнитного усилителя со стороны рабочей обмотки, полученная экспериментально, показана на рис. 3.

При достаточной мощности приводного двигателя частота сварочного генератора f , как показали экспериментальные исследования, практически остается на постоянном уровне и равна 50 Гц.

Из рис. 3 видно, что индуктивное сопротивление рабочей обмотки в начальной части характеристики (точка 1), т. е. в режиме холостого хода, равно:

$$X_{L_1} = \frac{U_1}{I_1} = 2\pi \cdot f \cdot L_1, \quad (4)$$

откуда индуктивность рабочей обмотки дроссельного магнитного усилителя

$$L_1 = \frac{U_1}{I_1 \cdot 2\pi \cdot f}. \quad (5)$$

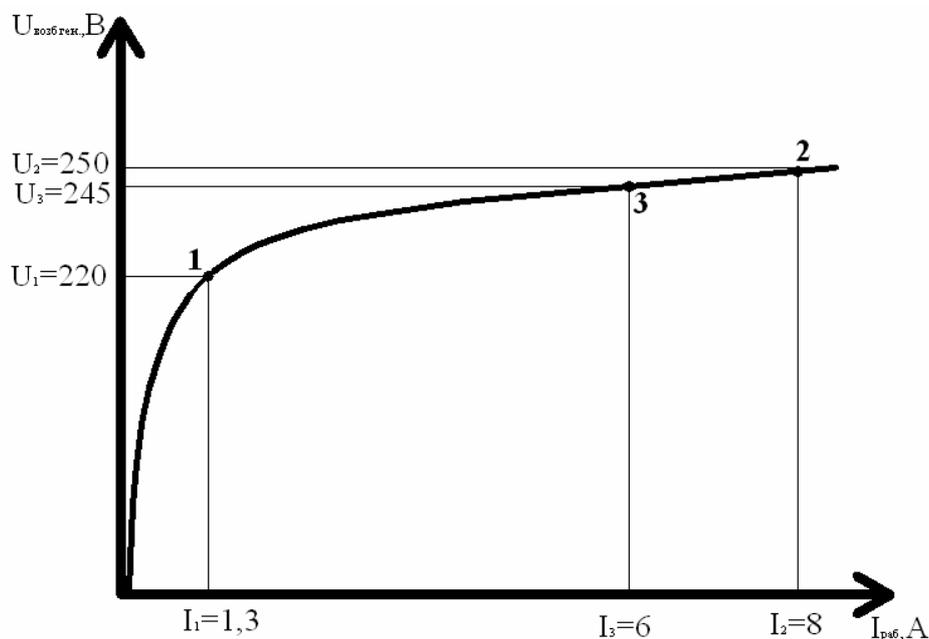


Рис. 3. Экспериментальная характеристика намагничивания дроссельного магнитного усилителя со стороны рабочей обмотки

Для нашего случая индуктивность

$$L_1 = \frac{220}{1,3 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,54 \text{ Гн.}$$

Результирующий ток

$$I_{рез} = 220 \cdot j \left(314 \cdot 184 \cdot 10^{-6} - \frac{1}{314 \cdot 0,54} \right) = j11,4 \text{ А.}$$

Ток сварки в процессе отведения электрода уменьшается и становится равным $I_{\text{св.раб}}$. Для дроссельного магнитного усилителя он является током управления и его подмагничивающее действие эквивалентно такому же в рабочей обмотке усилителя:

$$I_2 = \frac{I_{\text{св}}}{K_{\text{тр}}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{тр}} = \frac{W_{\text{раб}}}{W_{\text{упр}}}$ — коэффициент трансформации дроссельного магнитного

усилителя, где $W_{\text{раб}}$ и $W_{\text{упр}}$ — соответственно число витков рабочей обмотки и обмотки управления усилителя.

То есть этот режим соответствует точке 2 на характеристике намагничивания дроссельного магнитного усилителя (рис. 3).

Тогда:

$$L_2 = \frac{U_2}{I_2 \cdot 2\pi \cdot f}, \quad (7)$$

$$L_2 = \frac{250}{8 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,1 \text{ Гн.}$$

И в соответствии с выражением (3) результирующий ток в обмотке возбуждения генератора

$$\dot{I}_{\text{рез}} = 250 \cdot j \left(314 \cdot 184 \cdot 10^{-6} - \frac{1}{314 \cdot 0,1} \right) = j6,5 \text{ А.}$$

Пусть при отрыве электрода от детали из-за увеличения сопротивления дуги сварочный ток уменьшился и стал равен 60 А, это соответствует точке 3 и току в рабочей обмотке I_3 , тогда индуктивность рабочей обмотки магнитного усилителя:

$$L_3 = \frac{U_3}{I_3 \cdot 2\pi \cdot f}, \quad (8)$$

$$L_3 = \frac{245}{6 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,13 \text{ Гн,}$$

т. е. индуктивность L увеличилась, ток в рабочей обмотке дроссельного магнитного усилителя $I_L = I_3$ уменьшился, а результирующий ток в обмотке возбуждения генератора увеличился до величины

$$\dot{I}_{\text{рез}} = 245 \cdot j \left(314 \cdot 184 \cdot 10^{-6} - \frac{1}{314 \cdot 0,13} \right) = j8,15 \text{ А.}$$

Приведенная методика и ее апробация наглядно убеждают, что стабилизирующий эффект применения дроссельного магнитного усилителя значителен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Паутов Д. Н. Анализ схем сварочных генераторов на базе асинхронной машины с конденсаторным возбуждением // Вестн. кибернетики. — Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2006. — № 5. — С. 34–39.

2. Заявка на патент № 2006120229. Способ стабилизации сварочного тока при ручной дуговой электросварке и сварочный генератор для его осуществления / С. И. Кицис, Д. Н. Паутов, С. А. Мусихин; Заявл. 08.06.06.

S. I. Kitsis, D. N. Pautov

STABILIZATION OF WELDING CURRENT IN ASYNCHRONOUS SELF-EXCITED GENERATOR USING AN IMPEDANCE-COUPLED MAGNETIC AMPLIFIER

The article suggests a way of smooth stabilization of welding current in self-excited asynchronous welding generator. It is reached through subjecting excitation circuit of welding generator by welding current, along feedback circuit through an impedance-coupled magnetic amplifier. Cited, an example to calculate regulating effect.