

*к.т.н. Кобец Д.В.,
Ламанов С.Л.
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина).*

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ МАГНИТОСВЯЗАННЫХ УСТРОЙСТВ СОГЛАСОВАНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ С НАГРУЗКОЙ

У роботі розглядається методика параметричної оптимізації магнітозв'язаних пристроїв узгодження тиристорних джерел живлення з індукційним навантаженням.

***Ключові слова:** магнітний зв'язок, джерело живлення, критерій оптимізації, індуктор.*

В работе рассматривается методика параметрической оптимизации магнитосвязанных устройств согласования тиристорных источников питания с индукционной нагрузкой.

***Ключевые слова:** магнитная связь, источник питания, критерий оптимизации, индуктор.*

Современная силовая преобразовательная техника нуждается в дешевых и простых в использовании высокоэффективных способов согласования индукционной нагрузки с источником питания на средних частотах (2,4 – 10 кГц) при мощностях десятки и сотни киловатт.

Особое значение для современных индукционных нагревателей имеет гальваническая развязка индукционной нагрузки с источником питания, которая в настоящее время почти не используется из-за значительной стоимости традиционных средств гальванической развязки – закалочных трансформаторов, (25...40% от общей стоимости оборудования), их массу и размеры, не считая того, что отсутствие такой развязки существенно ухудшает электрическую безопасность персонала, который работает на индукционном оборудовании. Кроме того, на перемещение магнитопровода в таких трансформаторах теряется до 20% энергии, из-за чего они обеспечиваются водным охлаждением.

В работе [1] автором для гальванической развязки было предложено использовать индуктивности резонансных инверторов с дополнительным функциональным назначением. Устройство, схема которого представлена на рисунке 1 содержит: выпрямитель 1; фильтровый дроссель 2; коммутирующие конденсаторы 3, 4; тиристоры 5, 8; коммути-

рующие дроссели 6, 7; встречные диоды 9, 10; а также отдельный контур нагрузки, представленной индуктивностью 11, активным сопротивлением 12 и компенсирующим конденсатором 13. Отличительной особенностью представленной схемы от традиционных схем [2] является воздушная магнитная связь между коммутирующими дросселями и нагрузкой.

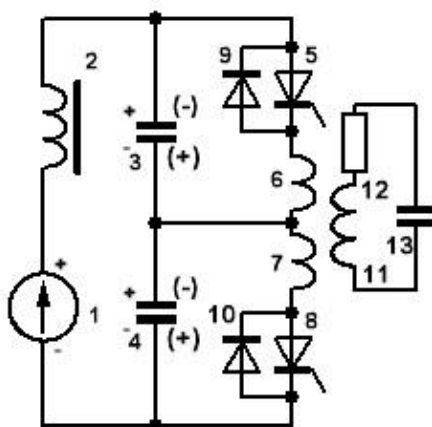


Рисунок 1 – Структурная схема источника питания

Одной из главных проблем с которой сталкивается разработчик ключевых преобразователей электроэнергии является оптимизация как электромагнитных параметров, так и массогабаритных показателей. Основным объектом оптимизации являются индуктивные элементы схемы. К вопросу оптимизации обращались многие исследователи. Например, в работе [3] исследуются процессы поиска оптимальных значений электрических параметров инверторов, в первую очередь величин емкостей, индуктивностей и активных сопротивлений, удовлетворяющих совокупности ограничений на рабочие характеристики элементов инвертора. В работах [4, 5] главным критерием оптимизации является массогабаритные показатели индуктивных элементов. Однако, в настоящей работе впервые рассматривается оптимизация воздушной магнитной связи тиристорных инверторов с индукционной нагрузкой.

Целью работы является разработка методики параметрической оптимизации магнитосвязанных устройств согласования тиристорных источников питания с индукционной нагрузкой.

Задача оптимизации параметров электрических цепей автономных тиристорных инверторов – одна из наиболее сложных в преобразовательной технике. В первую очередь это связано с высокой размерностью и многокритериальностью математических моделей инверторов, разнородностью и дискретным характером их варьируемых параметров,

многоэкстремальностью целевых функций. Указанные особенности определили выбор в пользу прикладного пакета MATLAB [6] как основного математического аппарата исследований источников питания с магнитосвязанными элементами. Ранее авторами уже была предложена модель источника питания на базе мостового резонансного инвертора. Аналогично, для полумостового инвертора модель может быть представлена в виде показанном на рисунке 2.

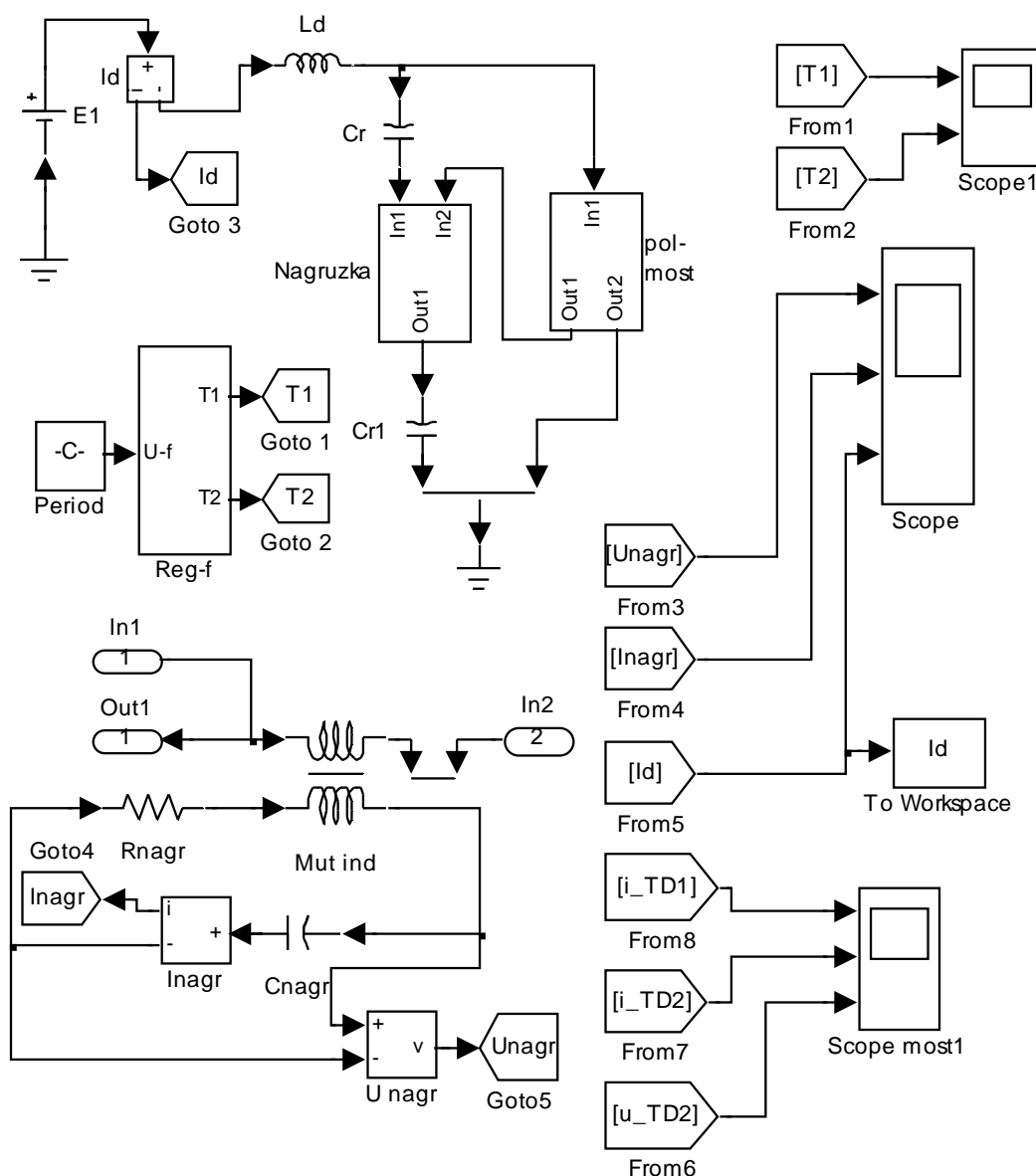


Рисунок 2 – Математическая модель источника питания на базе полумостового резонансного инвертора

В общем виде задачу оптимизации магнитной связи можно представить следующим образом.

Необходимо минимизировать критерий качества

$$J = \sum_{i=0}^N L[\mathbf{x}(i)] \rightarrow \min, \quad (1)$$

где \mathbf{x} – n -мерный вектор параметров; $i = 0, \dots, N - 1$ – интервал оптимизации в дискретном эквиваленте.

Наличие скалярных ограничений учитывается в виде неравенства

$$C^i[\mathbf{x}(i)] \leq 0. \quad (2)$$

В качестве параметра оптимизации выбираем величину взаимоиндукции L_m , которая в свою очередь определяет коэффициент магнитной связи

$$\mu = L_m / \sqrt{L_1 L_2}, \quad (3)$$

где L_1 и L_2 – собственные индуктивности блока взаимоиндукции (в нашем случае параметры дросселей 6 и 7 (рисунок 1)).

В качестве критерия оптимизации выбираем критерий максимума мощности передаваемой в нагрузку. Этот критерий может быть определен по входному току инвертора I_d . Для адаптации критерия к виду, который требуется в пакете MATLAB будем использовать эквивалентное выражение – минимум рассогласования текущего и максимально возможного значения входного тока инвертора

$$J = \sum_{i=0}^N (I_d^* - I_d)^2. \quad (4)$$

Дополнительно параметром поиска выбираем сопротивления нагрузки R_{nagr} .

Для оптимизации используется встроенная функция `fmincon` которая обеспечивает минимизацию критерия (1) при наличии ограничений (2) в диапазоне

$$\mathbf{x}_{\min} \leq \mathbf{x} \leq \mathbf{x}_{\max}. \quad (5)$$

Окончательно задача оптимизации программируется в виде показанном на рисунке 3.

```

%Программа оптимизации
global Lmop Rnop;
clc;
%Задание опций оптимизации
options=optimset('Display','iter','LargeScale',...
    'off','LevenbergMarquardt','on');
%Вызов встроенной функции
[x,fval,exitflag,output]=fmincon(@Jk1,[.5 .5],...
    [],[],[],[],[.1 .1],[.89 1],'confun',options)
%Построение графика переходного процесса
sim('Inv_polmost_magnit_3',300);
figure(1);
plot(Id.time,Id.signals.values);
grid;

%Подпрограмма определения критерия
function J=Jk(x)
global Lmop Rnop;
Lmop=x(1);
Rnop=x(2);
%Вызов модели для расчета Id
sim('Inv_polmost_magnit_3',300);
s=0;
for n=1:max(size(Id.signals.values))-1
    s=s+(Id.time(n+1)-
    Id.time(n))*(Id.signals.values(n)-100)^2;
end
J=s;

```

Рисунок 3 – Программа поиска оптимального значения взаимной индукции и сопротивления нагрузки

Были выбраны следующие параметры схемы в относительных единицах:

напряжения $E1=100$ о.е.,

$L_{\Sigma}^* = 1$ – суммарная индуктивность инвертора; $C_3^* = 1$ – эквивалентная емкость.

Производными от базисных величин являются:

$Z_k^* = \sqrt{L_{\Sigma}^* / C_3^*} = 1$ – волновое сопротивление коммутирующего контура;

$I_0^* = E1^* / Z_k^* = 100$ – базисный ток;

$\omega_0^* = 1 / \sqrt{L_{\Sigma}^* C_3^*} = 1$ – базисная частота;

$$C_r^* = 2; C_{r1}^* = 2; C_{nagr}^* = 2; L_{k1}^* = 0,5; L_{k2}^* = 0,5; L_{nagr}^* = 1; L_d^* = 50.$$

В результате работы программы получаем следующие значения параметров оптимизации

$$L_m^{opt} = 0,8787; R_{nagr}^{opt} = 0,8025.$$

Выводы. В работе предложена методика параметрической оптимизации магнитосвязанных устройств согласования тиристорных источников питания с индукционной нагрузкой по критерию максимума мощности, передаваемой в нагрузку. Предложенная методика позволяет учитывать ограничения на диапазон поиска решения. Также, благодаря использованию детализированной математической модели имеется возможность оптимизации не только коэффициента магнитной связи, но и параметров коммутирующих дросселей.

Библиографический список

1. Деклараційний патент на корисну модель України, МПК(2006) H02M 7/00. Пристрій підключення індукційного навантаження / С.Л. Ламанов. – № а200904460; Заявл. 05.05.2009; Опубл. 10.11.2010; Бюл. № 21.

2. Тиристорные преобразователи частоты /А.К. Белкин, Т.П. Костюкова, Л.Э. Рогинская, А.А. Шуляк. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 263 с.: ил.

3. Тонкаль В.Е. Оптимизация параметров мостовых резонансных инверторов / В.Е. Тонкаль, А.В. Новосельцев, Ю.К. Черных. – К.: Наук. думка, 1985. – 220 с.

4. Костюкова Т.П. Параметрический синтез электромагнитных элементов / Т.П. Костюкова//Управляемые электрические цепи и электромагнитные поля: Межвузовский научный сборник. №3. – Уфа: УГАТУ, 1997. – С. 114-117.

5. Рогинская Л.Э. Выбор структуры и параметрический синтез симметричного резонансного инвертора / Л.Э. Рогинская, А.В. Иванов, М.М. Мультменко//Электротехника. – 1998. - №7. – С. 1-5.

6. Дьяконов В. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник/В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб.: Питер, 2001. – 480 с.: ил.

7. Кобец Д.В. Моделирование источников питания индукционных установок с магнитосвязанными устройствами согласования нагрузки / Д.В. Кобец // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 31. – Алчевск: ДонГТУ, 2010.– С. 213 – 222.

Рекомендована к печати д.т.н., проф. Ульшиным В.А.