

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАСИВНОГО ФІЛЬТРА ДРУГОГО ПОРЯДКУ ДЛЯ ШІМ-ІНВЕРТОРА АВТОНОМНОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

Карпчук Г.Л., студент, Гаєвський О.Ю., проф., д.ф.-м.н.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра відновлюваних джерел енергії

Вступ. Серед інверторів автономних фотоелектричних станцій (ФЕС) найбільш затребувані є інвертори з синусоїдальною формою вихідного сигналу. Такий сигнал зазвичай формується за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Для згладжування імпульсів на виході вентильної схеми застосовуються низькочастотні фільтри, з яких найбільш простим і ефективним рішенням є пасивні фільтри другого порядку, в тому числі, LC-фільтр. Тому актуальним є розробка методики оптимізації параметрів таких фільтрів, яка допускала б врахування низки умов технічних завдань (ТЗ), перш за все, коефіцієнта спотворення синусоїдальної напруги, ККД інвертора, реактивної енергоємності фільтра та ін. Постановка і проведення експерименту щодо оптимізації фільтрів – трудомісткий і фінансово витратний процес, тому на початковому етапі оптимізації доцільно виконувати моделювання роботи ШІМ-інвертора з фільтром і знаходити прийнятні значення параметрів фільтруючої схеми при заданому характері навантаження.

Мета роботи. Розробка методики розрахунку згладжуючого фільтра другого порядку для автономного ШІМ-інвертора при заданому резистивному навантаженні, заснованої на комп'ютерному імітаційному моделюванні. Побудова Simulink SPS-моделі (SimPowerSystems) ШІМ-інвертора з LC-фільтром і знаходження алгоритму оптимізації, який враховував би задані обмеження на пульсації вихідної напруги, ефективність інвертора і реактивну енергоємність фільтра.

Матеріали і результати досліджень. LC-фільтр, призначений для поліпшення вихідної напруги, має, як відомо, певні недоліки: падіння напруги на дроселі і підвищене навантаження інвертора за рахунок струму конденсатора [1]. Однак за рахунок підбору параметрів, що характеризуються оптимальним розташуванням на Бode-діаграмі основної частоти f_1 , частоти несучої ШІМ f_{sw} , резонансної частоти f_R і частоти зрізу f_{cut} , можливо отримання прийнятних характеристик роботи ШІМ-інвертора з фільтром другого порядку.

Алгоритм оптимізаційного розрахунку описується наступним чином:

1. Завдання втрати напруги (1–5%) в фільтрі на основній частоті $\alpha_1 = X_L / R$ та обчислення індуктивності дроселя L при заданому навантаженні R .

2. Встановлення пробного значення частоти зрізу $\omega_{cut} \approx 0.1\omega_{sw}$ і визначення ємності конденсатора C

$$C = \frac{1}{\omega_{cut}^2 L} \left[1 + \frac{1}{R} \sqrt{2R^2 - \omega_{cut}^2 L^2} \right] \quad (1)$$

3. Розрахунок параметру «жорсткості» фільтра [2, 3], який характеризує відносну зміну напруги під навантаженням ($U_{xx} \rightarrow U_H$):

$$\alpha_2 = \frac{U_{xx} - U_H}{U_H} = \sqrt{1 + \frac{\omega_1^2 T_2^2}{(1 - \omega_1^2 T_1^2)^2}} - 1, \quad T_1 = \sqrt{LC}, \quad T_2 = \frac{L}{R} \quad (2)$$

4. Розрахунок відносної реактивної енергоємності фільтра W

$$W = \frac{|Q_L| + |Q_C|}{P_H} = \frac{R}{X_C} \left(1 + \frac{X_L}{X_C} \right) + \frac{X_L}{R} \quad (3)$$

5. Побудова SPS-моделі однофазного ШІМ-інвертора (рис.1).

6. Встановлення параметрів L , C , R SPS-моделі, а також коефіцієнта амплітудної модуляції $M=1$.

7. Розрахунок за допомогою SPS-моделі коефіцієнта спотворень синусоїдальної напруги THD. Якщо THD не перевищує заданого у ТЗ значення мінус 2%, перехід до наступних пунктів розрахунку. В разі перевищення збільшить C , щоб умова ТЗ була виконана.

8. Обчислення для отриманого C енергоємності W . Якщо вона знаходиться в заданих межах (масо-габаритних показниках), закінчить розрахунок. У противному випадку продовжить оптимізацію при інших значеннях коефіцієнту модуляції M та ємності C .

В даній роботі моделювання виконувалось за допомогою віртуальної моделі ШІМ-інвертора з вихідним LC – фільтром (рис. 1). Модель дозволяла проводити гармонійний аналіз вихідної напруги, обчислювати вихідну потужність, напругу, ККД інвертора.

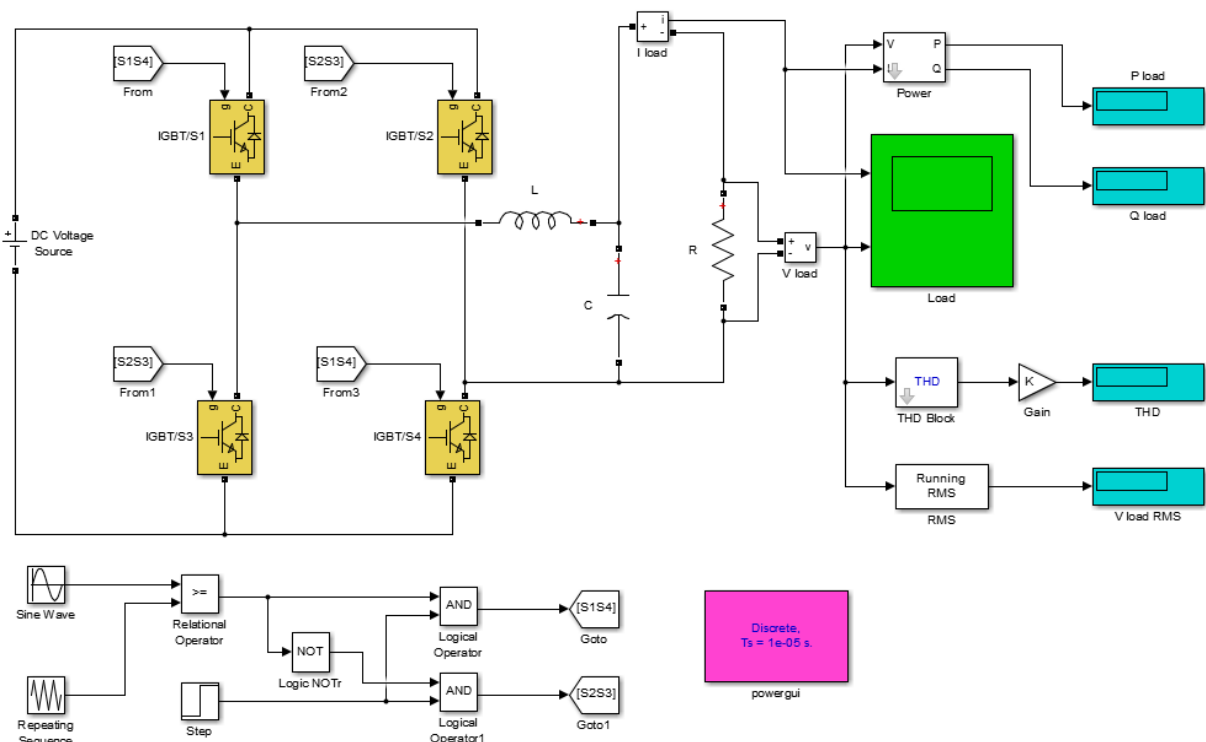


Рисунок 1 – SPS-модель ШІМ-інвертора з LC-фільтром

Наведемо приклад отриманих результатів. Для навантаження $R = 7 \text{ Ом}$ і $U_n=300\text{В}$ пробні параметри SPS-моделі складають $L = 1,1\text{мГн}$, $C = 1900\text{мкФ}$. Подальший FFT-аналіз (швидке перетворення Фур'є) моделі дає $\text{THD} = 2,2 \%$, тому можливе зменшення значення C , наприклад, до $C = 100 \text{ мкФ}$, тоді $\text{THD} = 7,1 \%$. Залежність THD від C показана на рис. 2 при різних M .

Вихідна потужність інвертора незначно зростає зі збільшенням ємності C . Однак посилення амплітудної модуляції до $M=1.1$ при оптимальних параметрах фільтру дозволяє суттєво підвищити вихідну потужність без істотного зростання THD (рис. 3).

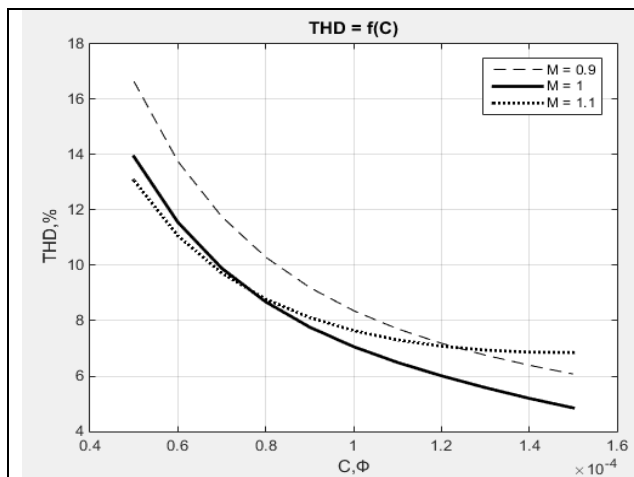


Рисунок 2 – Залежність THD вихідної напруги інвертора від ємності конденсатора C при різних рівнях модуляції M

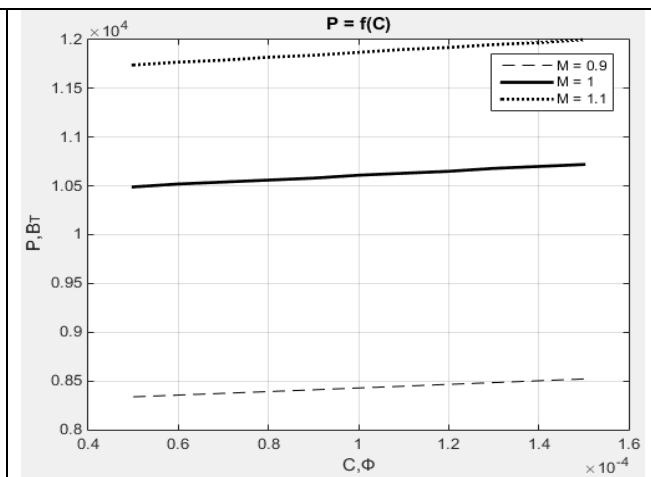


Рисунок 3 – Залежність потужності у навантаженні від ємності конденсатора C при різних рівнях модуляції M

Висновок. Розроблено алгоритм оптимізації пасивного згладжуючого фільтру другого порядку для ШІМ-інвертору, який дозволяє швидко знаходити параметри фільтру при заданих навантаженні, рівні спотворень синусоїдальної напруги, енергоємності фільтру.

Перелік посилань

1. Руденко В. С, Сенько В. И., Чиженко И. М. Преобразовательная техника. - 2-е изд., перераб. и доп. / Киев: Вища школа, 1983. - 431 с.
 2. Мыщык, Г.С., Бериллов А.В., Михеев В.В. Поисковое проектирование устройств силовой электроники (трансформаторно-полупроводниковые устройства): Учебное пособие / Г.С. Мыщык – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 284 с.
- Сафонов В.И. Выбор параметров LC-фильтра для ШИМ-сигнала. Вестник ЮУрГУ, серия «Энергетика», выпуск 18, 2012, с. 107 –110.