УДК 621.314.222.6

О.С. Міняйло
Національний університет “Львівська політехніка”, м. Львів

ВПЛИВ ПОСЛІДОВНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ОСВ-10000-УЗ НА НАПРУГУ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ БЛОКА З АСТГ-200

© Міняйло О.С., 2007

Досліджено можливість використання послідовних трансформаторів типу ОСВ-100000-УЗ для регулювання напруги на шинах ВП блока з АСТГ – 200.

Possibility utilization of series transformer type ODA-10000 CO are investigated for regulation voltage on auxilary at a power generating unit with ASTG – 200.

Постановка проблеми. Під час реконструкції і розширення електростанцій, що будуються, доцільно розглядати можливість використання асинхронізованих турбогенераторів (АСТГ) як керованих засобів компенсації реактивної потужності для нормалізації режимів енергосистем за напругою та покращання режимів роботи синхронних генераторів.

Переваги АСТГ відомі [1, 2]. Передумови для використання АСТГ тепер існують. Середнє завантаження мереж 750 кВ становить 50–60 % від натуральної потужності, а мереж 330 кВ 60–80 % [3]. Це привело до недопустимих перевищень напруги не тільки в мережах 750 кВ, але і в мережах 330 кВ центральних і західних регіонів ОЕС України, а також на шинах 110 і 35 кВ деяких підстанцій у цих регіонах.

АСТГ протягом доби працює в режимі циклічної зміни реактивного навантаження від видачі до споживання або навпаки. У такому режимі необхідні часті перемикання пристрою РПН трансформатора власних потреб (ТВП). Оскільки контакти пристроїв РПН у разі частих перемикань можуть пошкоджуватись, то пропонується спосіб безконтактного плавного регулювання напруги ТВП [4, 5].

Тут розглядається можливість використання з цією метою послідовного трансформатора (ПТ) ОСВ – 10000 УЗ, що випускається на Уральському електроапаратному заводі, Росія.

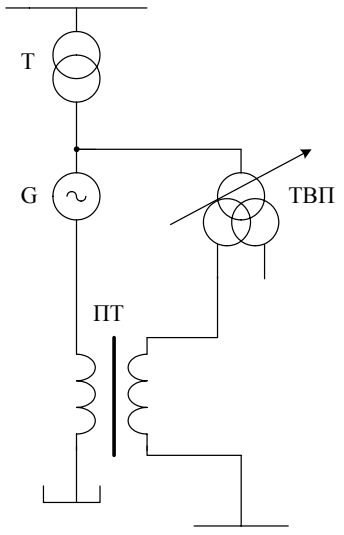
Аналіз останніх досліджень. Дослідження в цьому напрямі послідовно проводяться на кафедрі ЕС Львівської політехніки. Проведена оцінка характеристик ПТ щодо можливості використання його для регулювання напруги на ВП блоці. Досліджено особливості процесів паралельно-послідовно з’єднання трансформаторів в усталеному режимі, що дозволило запропонувати схему заміщення такого з’єднання [6]. Вивчений вплив напруги короткого замикання на процеси в схемі з’єднань та приналежність до різних груп з’єднань і вплив нерівності коефіцієнтів трансформації. Через обмежений обсяг статті ми не вказуємо більшу кількість робіт.

Ведуться також роботи [7], спрямовані на використання ПТ великої потужності для безпосереднього живлення споживачів ВП.

Задачі досліджень. Метою роботи є дослідити можливість використання ПТ ОСВ – 10000 УЗ для регулювання напруги на ВП блока з АСТГ – 200.

Виклад основного матеріалу. Спрощена принципова схема, що пояснює спосіб безконтактного регулювання напруги ТВП блока з АСТГ, показана на рис. 1.

Тут позначено G – генератор, Т – блочний трансформатор, ТВП – трансформатор власних потреб, ПТ – послідовний трансфор-



матор. Під час роботи генератора напруга ТВП геометрично підсумовується з напругою ПТ, встановленого з боку нульових виводів генератора G. За такого способу живлення ВП блока, напруга на шинах ВП залежить не тільки від напруги, але і від струму генератора. На шини ВП підводиться геометрична сума напруг ТВП і ПТ. Використання такого способу живлення ВП сприятиме підтриманню напруги на шинах ВП також при різних видах коротких замикань на шинах електростанції і в мережі.

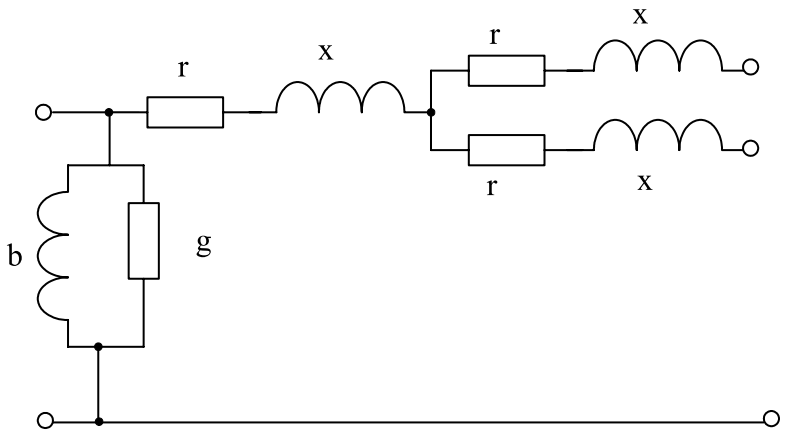


Рис. 1. Заступна схема ТВП

Розглянемо параметри заступних схем ТВП і ПТ і оцінимо їх вплив на напругу секції власних потреб.

Паспортні дані ТВП: тип ТРДНС-25000/35 $S_{Н} = 25000$ кВА; $U_{ВН} = 15{,}75$ кВ; $U_{НН} = 6{,}3$ кВ; $\Delta P_{КЗ} = 115$ кВт; $U_{К ВН-НН} = 10{,}5\%$; $U_{К НН1-НН2} = 30\%$; $I_{Н.Х.} = 0{,}65\%$.

Всі напруги короткого замикання віднесені до номінальної потужності трансформатора.

У [8] вказується, що для звичайного трансформатора у разі ненасиченої сталі питання форми заступної схеми має лише методичне значення, рекомендується для користування Г-подібна заступна схема або схема без врахування вітки намагніченого струму. ТВП блока з АСТГ – 200 в режимі споживання реактивної потужності працює з пониженим значенням напруги.

Заступна схема ТВП показана на рис. 1.

$$\underline{Z}_{ТВ} = 0{,}022 + j0{,}297 \text{ Ом}; \ \underline{Z}_{ТВ} = j0{,}297 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}'_{ТН1} = \underline{Z}_{ТН2} = 0{,}044 + j1{,}485 \text{ Ом}; \ \underline{Z}'_{ТН1} = \underline{Z}_{ТН2} = j1{,}485 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{Т} = 1341{,}7 + j8721{,}4 \text{ Ом}$$

$$g_{Т} = 1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Ом}};$$

$$b_{Т} = 6{,}5 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Ом}};$$

$$Y = 2{,}73 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{Ом}}.$$

Паспортні дані ПТ: тип ОСВ-10000 УЗ Уральського електроапаратного заводу, Росія.

$I_{1Н} = 8630$ А; $I_{2Н} = 1000$ А; $U_{1Н} = 75$ В. Розрахунковий опір взаємоіндукції, приведений до вентильної обмотки $x_{\mu} = 0{,}0328$ Ом. Втрати в обмотках 6400 Вт. Вторинна напруга при номінальному первинному струмі 141 В, $U_2 = F(I_1)$ лінійна при $I_1 = (0-3)I_{ном}$.

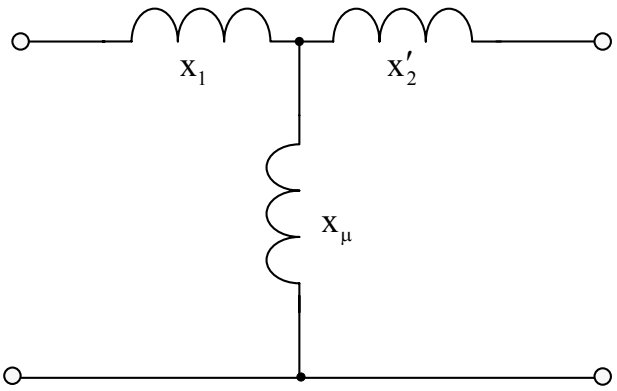


Рис. 2. Заступна схема ПТ

Активний опір трансформатора

$$r_{пт} = \frac{\Delta P \cdot U_H^2}{S_H^2} = \frac{6450 \cdot 0{,}075^2}{647{,}25^2} = 0{,}0087 \text{ Ом}.$$

Очевидно, що $u_H\% = P_H\% = \frac{6400}{647{,}25} \cdot 100 = 0{,}988\%$ тобто активним опором можна знехтувати

Індуктивний опір трансформатора

$$x_{ПТ} = \frac{u_K\%}{100} \cdot \frac{U_H^2}{S_H} = \frac{75^2}{647250} = 0{,}0087 \text{ Ом}.$$

$$u_K = 100\%.$$

Цей опір можна визначити і через напругу первинної обмотки, при замкненій накоротко вторинній обмотці.

$$U_{1H} = I_{1H} \cdot x_{ПТ}$$

$$x_{ПТ} = \frac{75}{8630} = 0{,}0086 \text{ Ом}.$$

Номінальна потужність трансформатора

$$S_H = U_{1H} \cdot I_{1H} = 75 \cdot 8630 = 647250 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Потужність вторинної обмотки

$$S_{2H} = U_{2H} \cdot I_{2H} = 141 \cdot 1000 = 141000 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

Ця потужність по відношенню до потужності первинної обмотки (номінальної потужності) становить:

$$\frac{S_{2H}}{S_{1H}} \cdot 100 = \frac{141 \cdot 10^3}{647250} \cdot 100 = 21{,}78\%.$$

Визначаємо опір взаємоіндукції з досліду неробочого ходу

$$\frac{U_2}{K_{ПТ}} = I_{1H} \cdot x_\mu$$

звідки

$$x_\mu = \frac{U_2}{I_{1H} \cdot K_{ПТ}} = \frac{141}{8630 \cdot 8{,}63} = 0{,}0019 \text{ Ом}.$$

де $K_{ПТ}$ – коефіцієнт трансформації ПТ.

Це значення опору, приведене до кількості витків первинної обмотки.

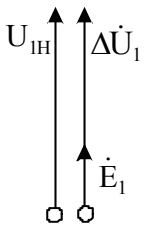


Рис. 3. Векторна діаграма неробочого ходу ПТ

Нехтуючи активним опором, визначаємо індуктивний опір первинної обмотки (рис. 3).

$$U_{1H} - E_1 = I_{1H} x_1;$$

тоді

$$x_1 = \frac{U_{1H} - E_1}{I_{1H}} = \frac{75 - 0{,}0019 \cdot 8630}{8630} = 0{,}0068 \text{ Ом.}$$

Індуктивний опір вторинної обмотки, приведений до кількості витків первинної обмотки

$$x_2' = x_{ПТ} - x_1 = 0{,}0087 - 0{,}0068 = 0{,}0019 \text{ Ом.}$$

Значення опору вторинної обмотки.

$$x_2 = 0{,}0019 \cdot 8{,}63^2 = 0{,}141 \text{ Ом.}$$

Враховуючи результати проведених досліджень [6], заступна схема з'єднання ТВП і ПТ матиме вигляд (рис. 4)

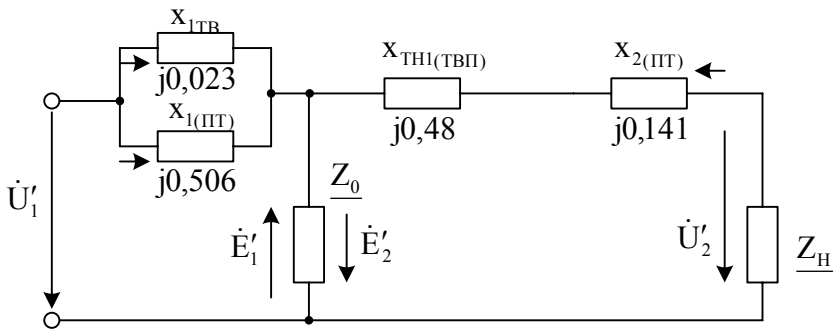


Рис. 4. Заступна схема з'єднань ТВП і ПТ

Для цієї схеми (рис. 4) запишемо рівняння

$$\dot{U}_1' = x_1 \dot{I}_{1ТВП}' + (-\dot{E}_1');$$

$$\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{0(ТВП)} + \underline{Z}_{0(ПТ)}.$$

$$\dot{U}_2' = -\dot{E}_1' - x_2 \dot{I}_2;$$

$$x_1 = x_{1ПТ} // x_{1ТВ(ТВП)};$$

$$x_2 = x_{TH1(ТВП)} + x_{2ПТ};$$

$$\dot{E}_2' = -\dot{E}_1'$$

$$\dot{E}_2 = \dot{E}_{2(ТВП)} + \dot{E}_{2(ПТ)};$$

$$\dot{E}_2 = \frac{\dot{U}_1'}{K_T} + \left(\frac{x_\mu Q}{\dot{U}_1'} + j\frac{x_\mu P}{\dot{U}_1'}\right)K_{ПТ} = \frac{\dot{U}_1'}{K_T} + \frac{S_2}{\dot{U}_1'}(x_\mu \sin\varphi + j x_\mu \cos\varphi)K_{ПТ} \qquad (1)$$

P, Q – активне і реактивне навантаження генератора; x_μ – опір взаємоіндукції ПТ.

Тут K_T – коефіцієнт трансформації ТВП. Значення P, Q необхідно брати з діаграми допустимих навантажень АСТГ – 200. Напруга U знижена на 10 %.

Опір навантаження ТВП:

$$Z_H = r_H + j x_H = \frac{U_H^2}{S_H}(\cos\varphi_H + j\sin\varphi_H);$$

$$Z_{Н} = \frac{6{,}3^2 \cdot 10^3}{1250}(0{,}8 + j0{,}6) = 2{,}54 + j1{,}91 \text{ Ом};$$

$$x'_{ТВП} = x_{ТВ(ТВП)} + x_{ТН1(ТВП)} = 0{,}297 + 1{,}485 = 1{,}782 \text{ Ом}.$$

Приведемо цей опір до кількості витків вторинної обмотки

$$x_{ТВП} = \frac{x'_{ТВП}}{K_Т^2} = \frac{1{,}782}{2{,}5^2} = 0{,}285 \text{ Ом}.$$

Приведений $x_{ТВП}$ до номінальної потужності вторинної (розщепленої) обмотки

$$x_{ТВП(12{,}5)} = x_{ТВП}\frac{S_Н / 2}{S_Н} = \frac{0{,}285}{2} = 0{,}143 \text{ Ом}$$

$$\frac{0{,}297}{1{,}782} = 0{,}17 \text{в.о.}$$

$$x_{ТВ(ТВП)} = 0{,}17 \cdot 0{,}143 = 0{,}023 \text{ Ом}.$$

$$x_{ТН1(ТВП)} = 0{,}83 \cdot 0{,}143 = 0{,}118 \text{ Ом}.$$

Індуктивний опір вторинної обмотки ПТ

$$x_2 = 0{,}141 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір первинної обмотки, приведений до кількості витків вторинної обмотки

$$x'_1 = x_1 \cdot k_{ПТ}^2 = 0{,}0068 \cdot 8{,}63^2 = 0{,}506 \text{ Ом}$$

Щоб опір вторинної обмотки ПТ не впливав на збільшення спадку напруги в колі ВП, необхідно його зменшити на порядок $x_2 = 0{,}0141$ Ом.

За такою умовою коефіцієнт трансформації ПТ буде

$$K_{ПТ} = \sqrt{\frac{x_2}{x'_2}} = \sqrt{\frac{0{,}0141}{0{,}0019}} = 2{,}73.$$

Тоді струм вторинної обмотки

$$I_2 = \frac{8630}{2{,}73} = 3161{,}2 \text{ А}$$

Потужність вторинної обмотки за умови, що $U_{2Н} = 141$ В

$$S_{2Н} = 141 \cdot 3161{,}2 = 445725{,}3 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Ця потужність по відношенню до потужності первинної обмотки (номінальної потужності) становить:

$$\frac{S_{2Н}}{S_{1Н}} \cdot 100\% = \frac{445725{,}3}{647250} \cdot 100 = 68{,}9\%.$$

А по відношенню до потужності розщепленої обмотки ТВП

$$\frac{S_{2Н} \cdot 3}{S_{Н\,ТВП} / 2} \cdot 100\% = \frac{445725{,}3 \cdot 3}{12500} \cdot 100 = 10{,}7\%.$$

$$\frac{S_{1Н} \cdot 3}{S_{Н\,ТВП} / 2} \cdot 100\% = \frac{647{,}25 \cdot 3}{12500} \cdot 100 = 15{,}53\%.$$

Активний опір заступної схеми кола ТВП

$$x_{ТВП} = 0{,}143 + 0{,}0141 = 0{,}157 \text{ Ом}.$$

Індуктивний опір первинної обмотки, приведений до кількості витків вторинної обмотки

$$x'_1 = x_1 \cdot k_{ПТ}^2 = 0{,}0068 \cdot 2{,}73^2 = 0{,}05 \text{ Ом}.$$

Отже, трансформатори ОСВ-10000УЗ можуть бути використані для регулювання напруги на шинах ВП тільки у разі збільшення потужності вторинної обмотки $S_{2H} \geq 0{,}7S_{1H}$.

На рис. 5 і в таблиці наведена залежність напруги на виводах ТВП від кута навантаження генератора φ, одержана за виразом (1). В ПТ використані обидві вторинні обмотки.

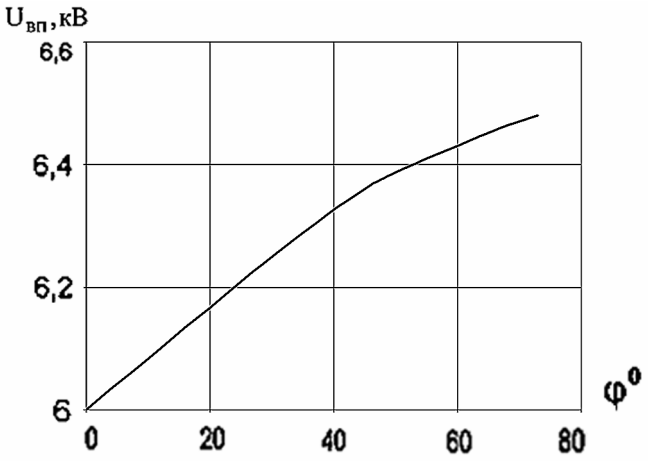


Рис. 5. Залежність напруги на виводах ТВП від кута навантаження генератора з врахуванням впливу ПТ

Наведено залежність напруги на виводах ТВП від кута навантаження генератора φ

$U_{ВП}$, кВ	6,0	6,25	6,36	6,45	6,43	6,46	6,48
φ^0	0	30	45	53	60	67	73

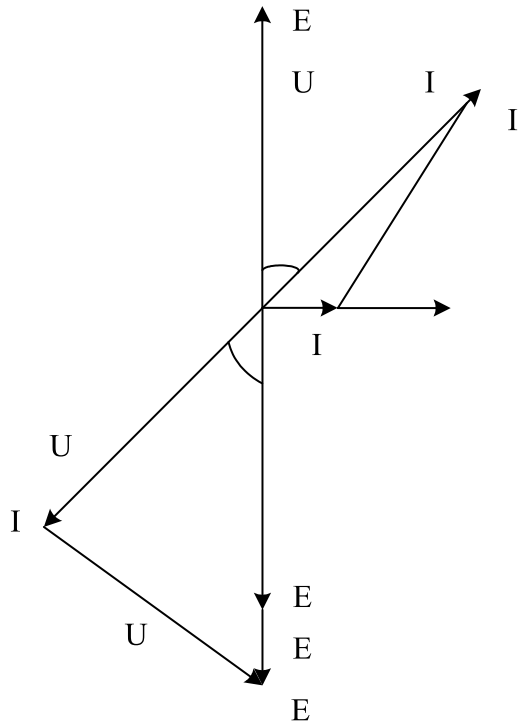


Рис. 6. Векторна діаграма з'єднання ТВП і ПТ

На рис. 5 зображена векторна діаграма з'єднання трансформатора власних потреб і ПТ.

Електрорушійні сили $\dot{E}_{2ТВП}$ і $\dot{E}_{2ПТ}$ додаються. Результуючий вектор ЕРС відстає від магнітного потоку на 90^0. Струм $\dot{I}_2$ відстає від $\dot{E}_2$, що визначається характером навантаження. Спадки напруги в трансформаторі не показані на діаграмі, оскільки вони незначні.

Висновки. Трансформатори ОСВ-10000 УЗ можуть бути використані для регулювання напруги на шинах ВП тільки у разі збільшення потужності вторинної обмотки. Потужність вторинної обмотки такого трансформатора повинна бути не менше 70 % від потужності первинної обмотки, а вона становить близько 22 %. Опір схеми з'єднань трансформаторів лишається практично таким як ТВП, що не приведе до зменшення стійкості двигунного навантаження.

1. Осин И.Л., Шакарян Ю.Г. Электрические машины: Синхронные машины. – М.: Высш. шк., 1990. – 304 с. 2. Дмитриев Г.А., Хвощинская З.Г., Лабунец И.А., Лохматов А.П., Шакарян Ю.Г.

Перспективы применения асинхронизированных турбогенераторов в европейской зоне ЕЭС России // Электрические станции. – 1997. – № 8. – С. 35–43. 3. Чевычелов В.А. К проблемам регулирования реактивной мощности в электрических сетях ОЭС Украины // Гидроэнергетика Украины. – 2005. – № 1. – С. 29. 4. Пат. на винахід 32558, UA, H02J 11//00. Спосіб живлення власних потреб блока з асинхронізованим або асинхронним генератором / О.С. Міняйло. – Заявл. 26.12.94, № 94128191. – 4 с.; Опуб. 15.02.2001, Бюл. № 1. 5. Пат. на винахід 27915, UA, H02J 11//00. Електрична мережа живлення власних потреб блока з асинхронізованим генератором / О.С. Міняйло, К.Б. Покровський. – Заявл. 11.01.1995, № 95010186. – 4 с.; Опуб. 16.10.2000, Бюл. № 5. 6. Сегеда М.С., Міняйло О.С., Покровський К.Б., Мальцева Н.Г., Равлик Н.О. Особливості дослідження схеми з'єднання паралельного і послідовного трансформаторів в усталених режимах // Наук. вісн. Нац. гірничого ун-т. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип. 10. – С. 78–81. 7. Лисяк Г.И., Малиновський А.А., Пастух О.Р. Методика вабору основних параметрів схеми підвищеної надійності блочних електростанцій з умов підтримання бажаного рівня напруги на шинах власних потреб під час зовнішніх трифазних коротких замикань // Технічна елетродинаміка. – 2000. – № 4. – С. 51–55. 8. Лейтес Л.В., Пинцов А.М. Схеми замещения многообмоточних трансформаторов. – М.: Энергия, 1974. – 192 с.

УДК 621.314.63

О.М. Сівакова, Є.І. Федів
Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМУ НЕПЕРЕРВНОГО СТРУМУ СИЛОВОГО ВИПРЯМЛЯЧА З ДВОХОПЕРАЦІЙНИМИ ТИРИСТОРАМИ

© Сівакова О.М., Федів Є.І., 2007

Здійснено моделювання режиму неперервного струму однофазного мостового випрямляча, керованого зміною моментів часу закривання тиристорів. Отримані аналітичні вирази для гармонічних складових змінного струму. Проаналізовано вплив способу управління вентилями на ступінь спотворення струму джерела живлення випрямляча.

The design of continuous current mode of single-phase bridge rectifier directed by the change of closing thyristors moments has been conducted. The analytical expressions for the harmonic constituents of alternating current have been received. The influence of thyristors control mode on the current distortion degree of rectifier power source has been analyzed.

Постановка проблеми. Силові випрямлячі, керування яких здійснюють зміною кутів запізнення вступу в роботу напівпровідникових вентилів, споживають з електромережі реактивну потужність зсуву, що знижує коефіцієнт потужності вузла електричного навантаження. Застосування випрямлячів зі штучною комутацією вентилів дозволяє працювати в режимах з випередженням за фазою основної гармоніки струму відносно напруги джерела живлення, що сприяє вирішенню проблеми компенсації реактивної потужності в електропостачальній системі. Тому розроблення та моделювання режимів таких випрямлячів є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Розроблена значна кількість різноманітних схем випрямлячів зі штучною комутацією напівпровідникових вентилів та запропоновані їх математичні моделі [1, 2, 4, 5]. Переважно – це пристрої, які забезпечують випередження вхідного струму