

Рисунок 4.9 – Перехідні процеси ЕП з релейною системою керування:
 ЕРС перетворювача, струм і швидкість двигуна при $1,5 \cdot T_{\theta}$

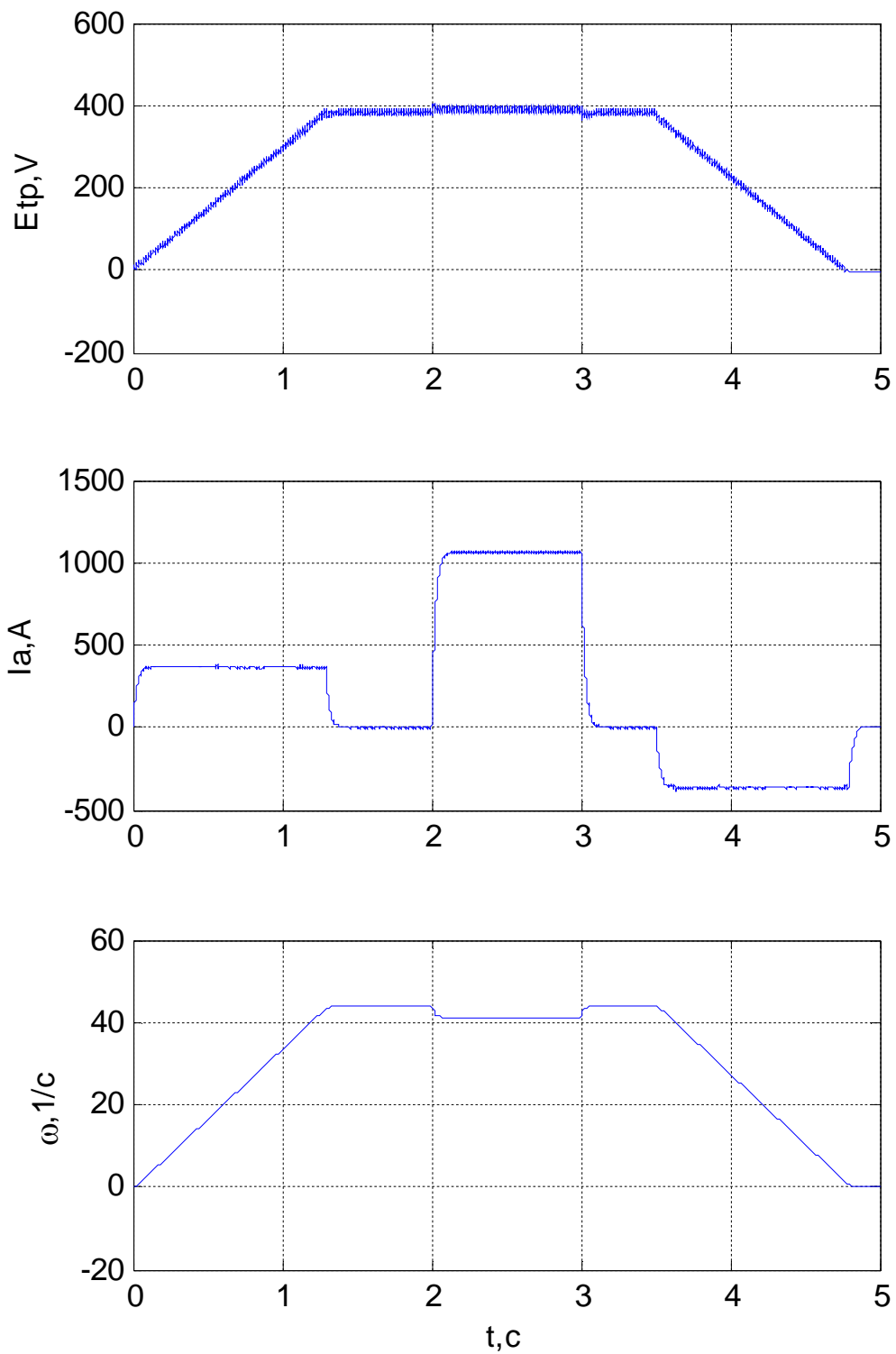


Рисунок 4.10 – Перехідні процеси ЕП з релейною системою керування:

ЕРС перетворювача, струм і швидкість двигуна при $0,7 \cdot T_{\omega}$

4.5 Привід постійного струму координатного маніпулятора

Для ряду довгоходових виробничих механізмів, наприклад, машин термічного різання (МТР), лазерних технологічних комплексів (ЛТК), що вимагають високої швидкодії при забезпеченні широких меж регулювання швидкості переміщення робочих органів, найбільш доцільним є використання лінійних двигунів постійного струму (ЛДПТ). Це впливає з загальних тенденцій розвитку електроприводів двокоординатних маніпуляторів, тому що застосування традиційних систем з перетворювачами обертального руху в поступальний на базі прецизійних кулькогвинтових пар (КВП), при довжині ходу більш 3 м, ускладнює отримання необхідних динамічних і точносних характеристик [72, 73]. Лінійні двигуни постійного струму, досить легко вбудовуючись в конструкцію маніпулятора, значно спрощує кінематику і забезпечує точність позиціонування за рахунок прямого приводу поступально переміщуваних елементів механізму.

При застосуванні лінійних двигунів постійного струму з механізму виключається дорога ШВП, поліпшуються динамічні і точності характеристики, зменшується інерційність і вплив зносу елементів механічного перетворювача руху, знижуються вібрації. Рухомий орган механізму поєднується конструктивно на загальних напрямних з лінійним електродвигуном, забезпечуючи цим простоту і надійність конструкції.

Вбудований в маніпулятор ЛТК лінійний двигун повинен володіти високою швидкістю і забезпечувати прискорення переміщуваних мас до 20 м / с. Для цього конструкція лінійних двигунів постійного струму повинна забезпечувати 5-6 кратне перевищення максимального тягового зусилля до номінального при відповідній форсуванні струму якоря. Лінійний двигун постійного струму повинен мати високий питомий показник - ставлення маси рухомої частини до тягового зусилля в номінальному режимі.

Аналіз поставлених вимог показує, що необхідні характеристики можуть бути забезпечені використанням в довгоходових координатних маніпуляторах (МТР, ЛТК) слідкуючого електроприводу на базі безконтактних лінійних

двигунів постійного струму з напівпровідниковими комутаторами. Комутатори розробляються з урахуванням досвіду їх проектування і реалізації в системах автоматизованого електроприводу промислових установок з двигунами постійного струму обертового типу [74, 75].

На рис. 4.11 зображена функціональна схема лінійного двигуна з напівпровідниковим комутатором, де: БО - блок управління; БСК - блок силових ключів; Я - рухома частина лінійного двигуна постійного струму спільно з обмоткою якоря; ДПР - датчик положення ротора (якоря), жорстко пов'язаний з якорем двигуна; X_p - керуючий сигнал реверсу.

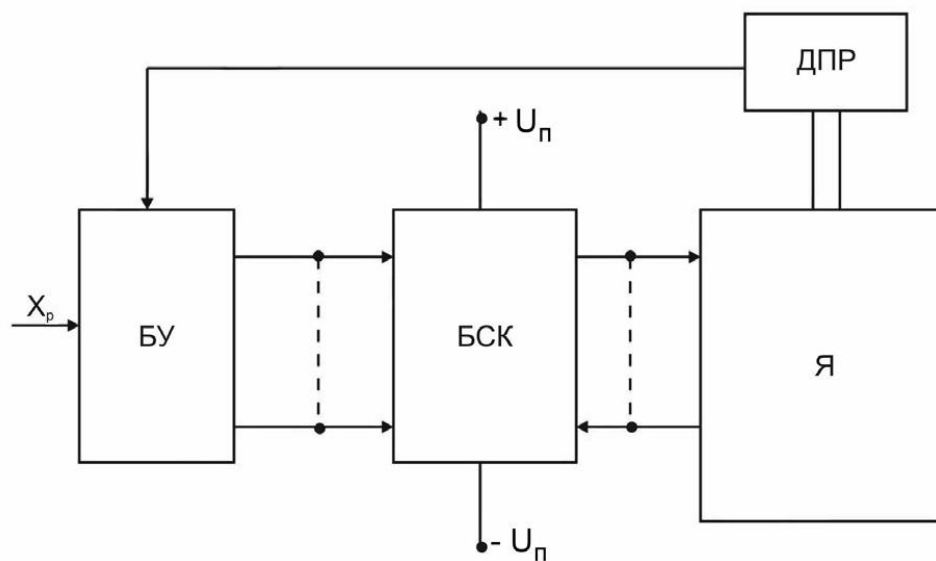


Рисунок 4.11 - Функціональна схема лінійного двигуна постійного струму з напівпровідниковим комутатором

При встановленому сигналі " X_p " під впливом сигналів датчика положення ротора ДПР блок управління БУ подає сигнали на силові ключі БСК, що відповідають положенню ДПР, які відкриваються, забезпечуючи шлях току від позитивного полюса джерела живлення через обмотку якоря до негативного полюса джерела живлення.

На блок-схемі напівпровідникового комутатора (рис. 4.12) тиристорний міст ТМ під впливом сигналів датчика положення якоря ДПЯ комутує обмотку двигуна. Послідовно з'єднаний з ТМ ключ КЛ1, забезпечує протікання струму через обмотку двигуна і відкриту пару тиристорів ТМ. Діодний міст ДМ і ключ КЛ2 забезпечують замкнуту ланцюг для струмів ЕРС самоіндукції і протидії

ЕРС двигуна при замиканні ключа КЛ1. Ключі КЛ1 і КЛ2 працюють в протифазі: КЛ1 відкритий - КЛ2 закритий, КЛ1 закритий - КЛ2 відкритий. Управління ключами здійснюється впливом сигналів блоку регулювання БР.

Одночасно з відкриттям КЛ1 надходить сигнал на відкривання відповідної пари тиристорів ТМ в функції сигналів датчика положення якоря (ДПЯ).

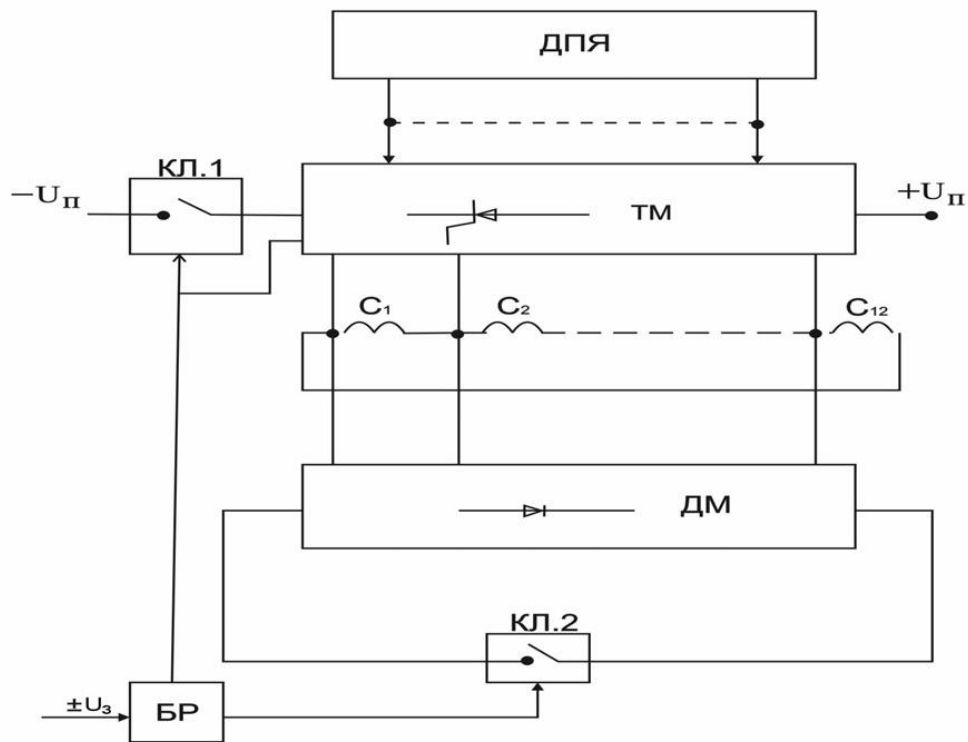


Рисунок 4.12 - Блок-схема напівпровідникового комутатора лінійного двигуна постійного струму

Сигнал напруги завдання $U_з$, що надходить на вхід БР, перетворюється в два широтно-імпульсних сигналу, що надходять на входи КЛ1 і КЛ2. Зі збільшенням напруги $U_з$ ширина імпульсу, що надходить на керуючий вхід КЛ1, пропорційно збільшується, а на керуючий вхід КЛ2- зменшується.

Розглянутий напівпровідниковий комутатор забезпечує роботу двигуна в руховому режимі, в режимі динамічного гальмування, в режимі противключення і дозволяє реалізувати роботу лінійного двигуна в режимах, аналогічних режимам традиційних обертових двигунів постійного струму.

На рис. 4.13 представлена функціональна схема напівпровідникового комутатора з кільцевих включенням секцій обмотки якоря лінійного двигуна постійного струму.

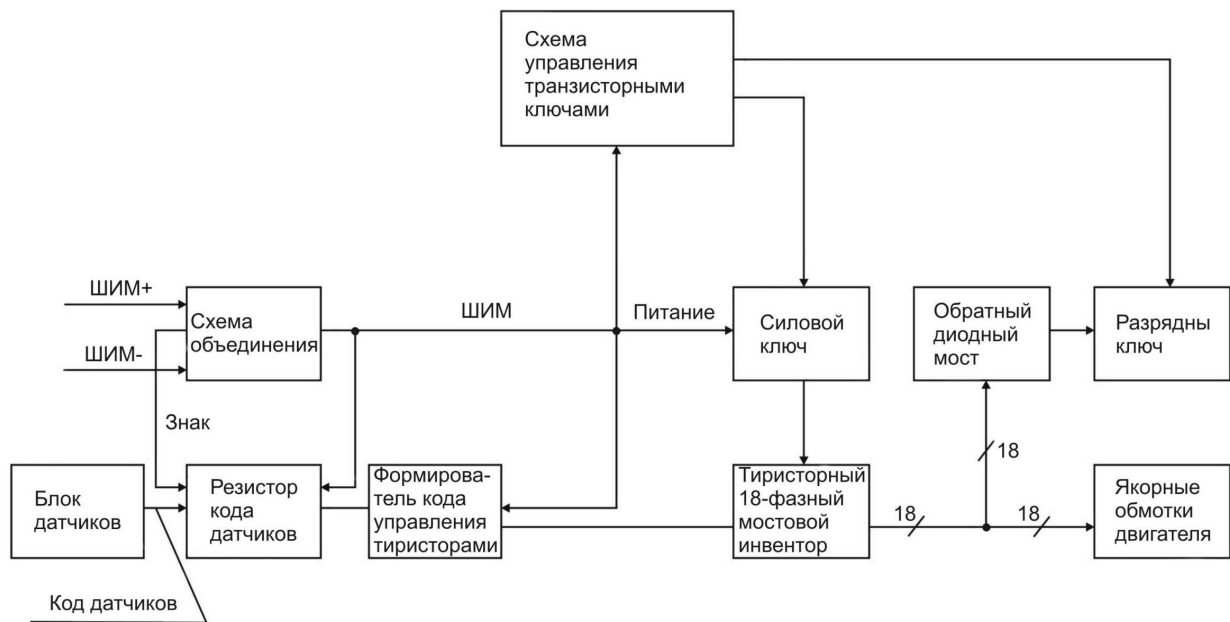


Рисунок 4.13 - Функціональна схема комутатора з кільцевих включенням обмоток

Сигнали управління рухом в позитивному (ШИМ +) і негативному (ШИМ-) напрямку приходять на схему об'єднання, де виробляються сигнали "знак" (напрямок руху) і загальний сигнал "ШИМ" (широтно-імпульсний модулятор). Сигнал ШИМ приходить на схеми управління транзисторними силовими ключами, де формуються почергові імпульси управління транзисторними ключами. силові ключі подають харчування на дванадцятифазний бруківці інвертор напруги, до виходу якого підключені якорні обмотки двигуна.

Інформація про стан якорних обмоток двигуна, щодо вторинної структури надходить від блоку датчиків. Шестиразрядний код датчиків надходить в регістр коду датчиків, де стробірується по переднього фронту сигналу ШИМ. Це зроблено з метою запобігання зміни коду управління тиристорами під час дії активної частини сигналу ШИМ. отім стробірований код датчиків потрапляє на формувач коду управління тиристорами, де по позитивному фронту сигналу

ШІМ формуються імпульси, відпираючи тиристори відповідно до заданого алгоритму.

Заміна механічного колектора в лінійних двигунах постійного струму на напівпровідниковий комутатор визначає собою необхідність застосування спеціального датчика, що визначає положення секції обмотки якоря двигуна щодо полюсних виступів і виробляє сигнали для включення необхідної пари ключів, що забезпечують відповідний напрям струму в секції обмотки якоря.

До датчику положення якоря (ДПЯ) пред'явлений досить складний комплекс вимог. Перш за все, розміри датчика не повинні перевищувати розмірів щітково-колекторного вузла, володіти малим енергоспоживанням, працювати в широкому діапазоні температур, забезпечувати повторюваність вихідних сигналів при повторюваності положень.

Найбільш простими датчиками є контактні. Але при роботі їх на активно-індуктивне навантаження швидко підгорає контакти. Малий ресурс і ненадійна робота часто виключають їх застосування в якості ДПЯ [76, 77]. Зазначених недоліків позбавлені безконтактні датчики. Найкращими властивостями серед датчиків, що працюють на змінному струмі, мають трансформаторні датчики, що підрозділяються на одинарні та диференціальні [78, 79]. Найбільш прийнятним є трансформаторний диференціальний датчик, що володіє високою крутизною вихідного сигналу.

Більш простим і технологічним, є ємнісний датчик положення, що працює на принципі зміни його ємності при переміщенні спільної з якорем щодо перемінної полюсної структури вторинної частини лінійних двигунів постійного струму. Недоліками таких датчиків, є необхідність їх живлення напругою від спеціального генератора синусоїдальної форми високої частоти. Існують і індуктивні датчики, що працюють за принципом самозбуджується генератора високочастотних коливань, в контур якого включена індуктивність.

Інформацію про стан якоря двигуна, можна також отримати за допомогою магнітного поля в зазорі між полюсним виступом і зубцем якоря, використовуючи при цьому магнітодіоди, магнітоопори або датчик Холла. Застосування цієї способи значно спрощує конструкцію датчика і дає

можливість безпосереднього вимірювання положення якоря лінійного двигуна постійного струму щодо полюсних виступів двигуна. Можливо також застосування фотоелементів в якості датчиків положення ротора. Відсутність впливу магнітного поля на параметри фотоелементів, робить вельми перспективним застосування їх в якості датчиків положення якоря.

Принципова схема блоку управління електроприводом для лазерних технологічних комплексів з використанням лінійного двигуна постійного струму приведена на рис. 4.14. Пристрій і робота складових частин блоку управління пояснюється за допомогою електричної принципової схеми і діаграм сигналів (рис. 4.15).

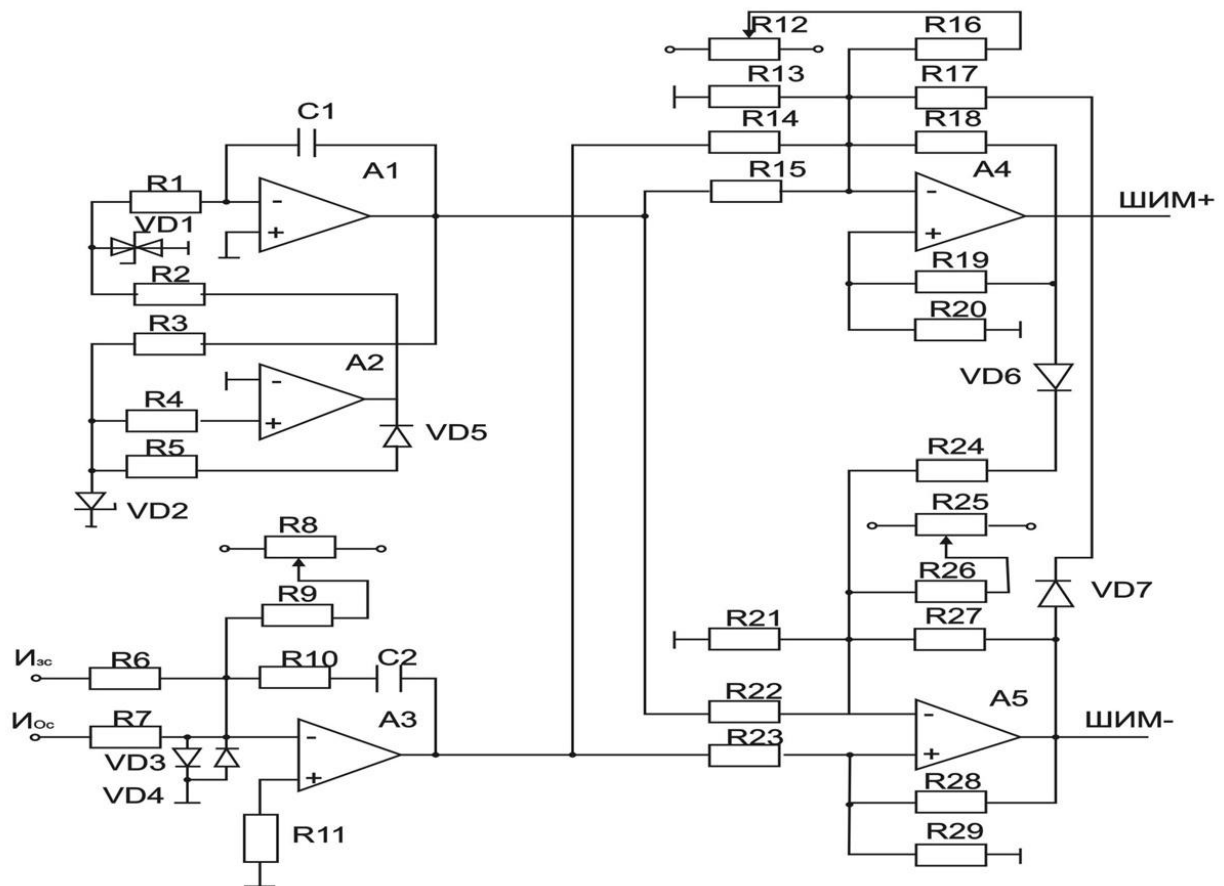


Рисунок 4.14 - Принципова схема блоку управління електроприводом

На схемі зображено регулятор швидкості, що включає в себе операційні підсилювачі A3 і зобов'язують його елементи. Вихідний сигнал регулятора швидкості надходить на виходи ШИМ-1 і ШИМ-2, виконаних на операційних підсилювачах A4, A5 відповідно. ШИМ-1 і ШИМ-2 здійснюють модуляцію

вхідного сигналу відповідної полярності, тобто ШІМ-1 здійснює модуляцію негативного сигналу, ШІМ-2 - позитивний сигнал. З виходів ШІМ, сигнали надходять на керуючі входи схеми управління напівпровідникового комутатора.

Для здійснення модуляції вхідного сигналу на входи ШІМ-1 і ШІМ-2 надходить сигнал трикутної форми з виходу генератора. Генератор сигналів трикутної форми, виконаний з 2 операційних підсилювачів А1, А2 з зобов'язуючими їх елементами. На базі А1 побудований інтегратор, а на базі А2 побудований тригер з великим гистерезисом.

На рис. 5 представлені діаграми сигналів генератора, ШІМ-1 і ШІМ-2, що відображають принцип широтно-імпульсної модуляції вихідного сигналу регулятора. На рис. 4.15 а зображено вихідний сигнал трикутної форми на виході операційного підсилювача. На рис. 4.15, б зображено змінюється сигнал на виході регулятора А3 при його негативному значенні. Цей сигнал порівнюється з сигналом трикутної форми на виході А5, що представляє собою ШІМ-1 і на його виході отримуємо широтномодульовані сигнали, зображені на рис. 4.15, в. З цієї діаграми видно, що зміна сигналу U_{11} і U_{12} веде за собою зміну сигналу по ширині T_{11} і T_{12} , відповідно.

При цьому операційний підсилювач А4 буде перебувати в негативній області насичення, тобто вихідний сигнал модуляції буде дорівнює нулю.

При появі сигналу позитивної полярності на виході регулятора (рис 5, г) він порівнюється з трикутним напругою на вході ШІМ-2, на виході якого з'являється широтно-модульований сигнал ререгулятора з тривалістю T_{21} і T_{22} (рис. 5, д).

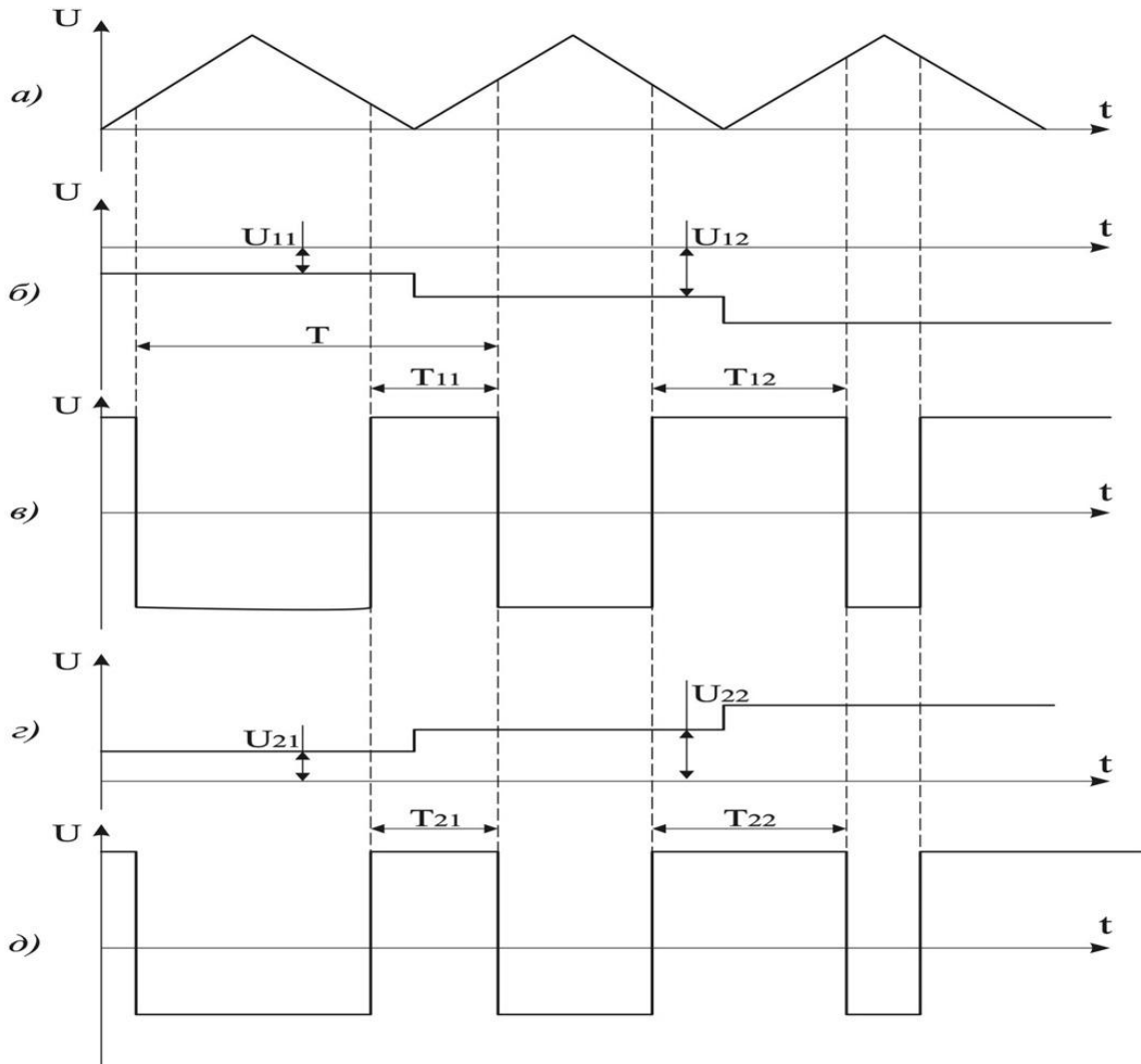


Рисунок 4.15 - Діаграма сигналів блоку управління електроприводом

При цьому операційний підсилювач А5 буде перебувати в негативній області насичення, тобто вихідний сигнал модуляції буде дорівнює нулю.

Як видно з діаграм, при одній і тій же амплітуді негативного і позитивного сигналу регулятора модульовані сигнали також однакові з тривалістю $T_{11} = T_{21}$, $T_{12} = T_{22}$. Також видно, що при збільшенні напруги на виході регулятора, ширина T_{11} , T_{12} збільшується пропорційно. Ширина імпульсу T_{11} , свідчить, про час протікання струму через двигун від джерела живлення. У момент часу $T - T_{11}$ або $T - T_{12}$, струм через двигун від джерела живлення протікати не буде.

За допомогою резисторів R12 і R25 забезпечується рівень спрацьовування А4 і А5 таким чином, щоб сигнал з тривалістю T_{11} не досяг нуля при сигналі на виході регулятора рівному нулю.

На підставі узагальнених даних в ОНПУ розроблені і виготовлені напівпровідниковий комутатор з кільцевих включенням обмоток якоря і лінійний двигун постійного струму. Випробування проводилися для лінійногодвигуна постійного струму з параметрами $U_n = 48$ В, $I_n = 7,5$ А, $V_n = 0,2$ м/с, з тяговим номінальним зусиллям $F_n = 285$ Н, в замкнутій системі автоматичного регулювання швидкості.

За результатами випробувань отримано підтвердження можливості забезпечення заданих параметрів координатного електроприводу з використанням лінійного двигуна постійного струму з напівпровідниковим комутатором.

4.6 Енергозберігаючі технології інваріантного регулювання електроприводів компресорних станцій

Головним завданням ефективного транспорту газу є забезпечення необхідної продуктивності компресорних станцій в умовах мінливих обставин подачі і споживання газу. Це необхідно для підтримання оптимального тиску в магістральному газопроводі і забезпечення надійної роботи газотранспортної системи. Дане завдання вимагає системного підходу і включає кілька аспектів:

- технологічний - гарантоване забезпечення транспорту газу в оптимальних режимах відповідно до безперервно змінюються зовнішніми впливами детермінованого (графіки поставки) і стохастичного (природного, сезонного) характеру. При цьому АСУ електроприводом нагнітачів повинна забезпечувати пуск газоперекачувальних агрегатів і регулювання продуктивності компресора в необхідному діапазоні зміни технологічних параметрів за допомогою допоміжних систем з електроприводами;

- економічний - окупність витрат на модернізацію системи електропостачання та обладнання за рахунок ефектів суворого дотримання графіка газоподачі, енергозбереження при регулюванні і зниження аварійності. Найвища техніко-економічна ефективність АСУ може бути досягнута тільки з

використанням перетворювачів частоти з оптимальними законами управління і діагностики;

- надійність, включаючи довговічність роботи кожного елемента силової схеми нагнітача і безперервну діагностику з системою прогнозування несправностей. Підвищення надійності роботи компресорних станцій досягається шляхом технічного переозброєння і реконструкції системи електропостачання 10 кВ з використанням систем діагностики, релейного захисту та автоматики.

- автоматизація - телемеханіка та диспетчеризація на рівні станції повинна містити повну інформацію про стан нагнітачів, апаратів повітряного охолодження газу та інших технологічних установках, а також про технологічні параметри для забезпечення ефективного регулювання продуктивності газоподачі. Крім того, вона повинна мати можливість обміну інформацією з іншими станціями.

Прикладами успішної реалізації проектів і технічних рішень із використанням програмно-технічних засобів і систем автоматизації об'єктів магістрального транспорту газу, є:

- автоматизований м'який запуск і регулювання продуктивності турбокомпресорів засобами високовольтного частотно-регульованого електроприводу по оптимальному закону $U / f^2 = \text{const}$, (де U , f - амплітуда і частота напруги живлення двигуна), з моніторингом та прогнозуванням відмов;

- інваріантне управління вентиляторами апаратів повітряного охолодження газу, що забезпечує автоматичну стабілізацію температури газу на виході компресорної станції в умовах впливу декількох метеорологічних і технологічних збурень стохастичного характеру;

- автоматизація систем опалення та вентиляції будівель і приміщень виробничо-енергетичного блоку компресорних станцій, що забезпечує комфортні кліматичні умови роботи обслуговуючого персоналу та обладнання;

- зовнішнє електропостачання компресорних станцій (вступні електросилові шафи, агрегатні електрощити, апарати введення резерву та інше обладнання) з дистанційним управлінням і моніторингом, що забезпечує

гарантоване харчування всіх систем, швидке підключення резервних і аварійних джерел електропостачання;

- автоматизація станції управління технологічними лініями підготовки і нанесення захисних покриттів на сталеві труби з координацією роботи семи електроприводів в енергоефективні режимі з максимальною продуктивністю;

- оптимальне управління допоміжними системами (насосами власних потреб і охолодження агрегатів, штатним і аварійним освітленням і т.п.) з моніторингом в рамках АСУ компресорної станції.

Найбільш інноваційної є завдання реалізації інваріантного управління електроприводами з вентиляторної навантаженням, що працюють в умовах багатфакторних випадкових збурень. Розглянемо її рішення на прикладі апаратів повітряного охолодження газу (АПОГ).

Як відомо, компримування газу за рахунок Політропний роботи стиснення призводить до підвищення його температури на виході, що призводить до руйнування ізоляційних покриттів, поздовжнім температурним напруженням і деформації трубопроводу. Крім того, знижується газоподача магістралі, її пропускна здатність і збільшуються енерговитрати на стиск через зростання об'ємної витрати.

Таким чином, стабілізацією газу температури на оптимальному рівні (незалежно від метеорологічних, природних і технологічних чинників) досягається збільшення продуктивності газопроводу, поліпшення роботи антикорозійного ізоляції і умов роботи за рахунок зниження температурних напружень в трубі, а також зниження шкідливого впливу на навколишнє середовище на ґрунт. Крім цього, модернізація АВОГ, пов'язана з оснащенням їх частотно-регульованим електроприводом, виключає з конструкції вентиляторів відхиляються напрямні апарати - елемент, що знижує економічність і надійність апаратів. Глибина охолодження компримованого газу обмежена температурою зовнішнього повітря, що особливо позначається в літній період експлуатації. Досвід експлуатації АПОГ показує, що зниження температури газу в них досягає значень 15 ... 25 ° С.

При проектуванні число АПОГ вибирається відповідно до галузевих норм ОНТП 51-1-85 і керівними документами (методиками ТОВ ВНІГАЗ) РД 153-39.0-112-01, щоб температура технологічного газу на виході з АВОГ повинна бути $<15^{\circ}\text{C}$ від середньої температури зовнішнього повітря. Відповідно до статистичних даних середніх температур навколишнього повітря для різних регіонів розроблені точні графіки оптимальних температур газу лінійно-виробничих управлінь. Однак процедура реалізації даного технологічного регламенту і завдань регулювання температури газу на виході не автоматизована і вирішується шляхом включення певного числа вентиляторів. У багатьох випадках управління АВОГ проводиться диспетчером вручну з місцевих пультів управління. Ефективність управління АВОГ при цьому залежить від суб'єктивних факторів і в умовах значних коливань температури і вологості повітря призводить до помилок і нераціональним витратам електроенергії.

Розроблена АСУ вентиляторів АПОГ дозволяє забезпечити:

1) безперервність роботи (добову, сезонну, річну) в тривалому режимі SI зі спокійним характером навантаження. При цьому виключаються пускагальмівні режими, які навіть при наявності м'яких пускачів призводять до зайвої енергоспоживання і зниження терміну служби ізоляції обмоток двигунів;

2) високий техніко-економічний ефект при регулюванні вентиляторної навантаження по закону $U / f^2 = \text{const}$, який обумовлений квадратичним зниженням моменту і кубічним зниженням споживаної потужності при зниженні швидкості обертання вентилятора АВОГ.

3) можливість автоматично відстежувати випадкові метеорологічні і технологічні зміни параметрів, що діють на АВОГ і адекватно їм задавати швидкість ω_3 вентиляторів. Це дозволяє коригувати охолоджуючу здатність АВОГ по керуючим алгоритмам в функції основних стохастичних збурень і забезпечити її інваріантність при будь-яких параметрах впливів;

4) можливість роботи вентиляторів навіть в зимовий сезон на низьких («повзучих») швидкостях, тому що зупинка їх навіть на нетривалий час

небажана через перезволоження обмоток, можливості руйнування підшипників і «схлопування» повітряного потоку над АВОГ і утворення криги на лопатях вентиляторів;

5) стабілізацію температури газу на виході компресорної станції шляхом ПІ-регулювання ω з в замкнутій САР при встановленому оптимальному режимі охолодження;

6) безперервний моніторинг, діагностування та прогнозування роботи обладнання АВОГ з використанням генетичних алгоритмів *fuzzy-logic*;

7) можливість інтегрування локальних АВОГ в єдину АСУТП і транспорту для моніторингу та управління з робочого місця оператора на ПК апаратною частиною комплексу автоматизації.

Реалізація функцій інваріантного управління є визначальною і передбачає застосування для обробки і формалізації даних статистичних методів, що входять в загальну теорію планування експерименту. Найбільший вплив на процес охолодження газу надають коливання значень чотирьох параметрів: температури навколишнього повітря θ , що змінюється в діапазоні $\pm 40^{\circ}\text{C}$, і його вологості $\beta = 30 \dots 100\%$; температури газу на вході або перепаду температур до і після компримування $\Delta t = 15 \dots 25^{\circ}$; масової витрати газу (продуктивність газопроводу) Q . Так як швидкість обертання ω вентилятора АВОГ задається в умовах одночасного випадкового зміни всіх параметрів, для отримання стабільної температури охолодженого газу t_2 необхідно отримати інформацію з усіх датчиків; обчислити оптимальну ω з по регресійний алгоритмам; скорегувати її шляхом стабілізуючого дії зворотного зв'язку по температурі охолодженого газу. Чисельні значення для індивідуальних АВОГ виходять методами регресійного аналізу