

Розділ 2. АНАЛІЗ ТА СИНТЕЗ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОСТАРТЕРНОГО ПУСКУ ДВЗ

2.1. Аналіз технічних рішень систем пуску

2.1.1. Класифікація систем пуску

Для запуску ДВЗ необхідно забезпечити обертання колінчастого вала двигуна з певною (пусковою) частотою при якій задовільно відбуваються процеси утворення паливної суміші, її спалаху та горіння. Пускова частота обертання карбюраторних двигунів складає $40 - 70 \text{ хв}^{-1}$, для дизельних двигунів ця частота більша $100 - 150 \text{ хв}^{-1}$.

При пуску необхідно перевищити момент опору, який обумовлено тертям спряжених частин двигуна, компресією у циліндрах, інерцією частин, що обертаються. Обертаючий момент, який необхідно створити системою пуску, перш за все залежить від типу двигуна, кількості циліндрів, ступеня стиску, в'язкості мастила, частоти обертання, температурних умов пуску. При низькій температурі пуску момент опору колінчастого вала підвищується за рахунок підвищення в'язкості мастила.

За принципом дії розрізняють такі системи пуску: механічні, з використанням допоміжного бензинового двигуна, пневматичні, гідропневматичні, інерційні, електро-стартерний пуск (рис. 2.1.1).

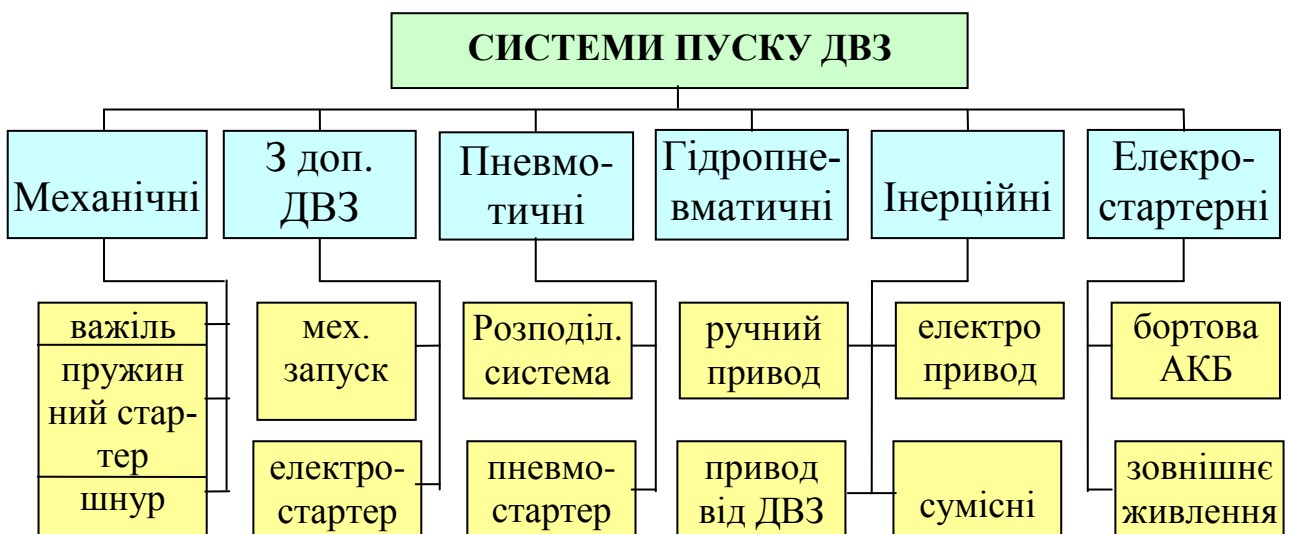


Рис. 2.1.1. Класифікація систем пуску

У механічних системах пуск ДВЗ малої потужності здійснюється за рахунок енергії людини (використання важеля, шнура на диску). Механічний пуск може забезпечуватись за допомогою пружинного стартера, принцип дії якого оснований на накопиченні енергії в пружині, яка стискається вручну через редуктор, з наступним використанням цієї енергії при вивільненні. До переваг пружинного стартера слід віднести: відсутність АКБ, проводів; простота та надійність конструкції; можливість повільного прокручування колінчастого вала двигуна при регулюваннях газорозподілу та паливної апаратури; плавність входу головної шестерні в зачеплення з вінцем маховика. Недоліками застосування пружинного стартера є: неможливість пуску двигуна з кабіни водія; значна тривалість процесу запуску пов'язана з попереднім стискуванням пружини; короткочасність прокручування непридатна для пуску при понижених температурах; підвищена вартість стартера [10].

При пуску *допоміжним ДВЗ* малопотужний бензиновий двигун запускається вручну (важіль, шнур) і через редуктор запускає основний двигун. Допоміжний двигун може запускатися й електростартером. Такі системи двоступінчастого пуску знайшли застосування на тракторних дизельних двигунах.

Пневматичний пуск двигуна полягає в подачі стисненого повітря через повітродозподільну систему безпосередньо в циліндри двигуна, забезпечуючи його прокручування. Перевагою пневматичного пуску в порівнянні з електростартерною системою є економія свинцю, міді та зменшення ваги системи пуску. До недоліків застосування пневматичного пуску слід віднести: обмежений запас енергії; ймовірність витоку повітря через нещільності; ускладнення двигуна; охолодження стінок циліндрів та камер згоряння при розширенні стисненого повітря; проблематичність розміщення пускових клапанів при малих розмірах циліндрів; корозія деталей двигуна при вогкому повітрі. Пневматичний пуск з безпосередньою подачею повітря у циліндри є переважним для потужних дизельних двигунів та неускладнених умов пуску [10].

До пневматичних систем відносяться системи із застосуванням пневматичних стартерів, які працюють під меншим тиском. Пневматичні стартери також використовують енергію стисненого повітря, але є конструктивно автономними пристроями (посадкові розмі-

ри забезпечують взаємозамінність з електростартерами). Принцип дії пневматичних стартерів аналогічний роботі газової турбіни, робочим тілом якої є стиснене повітря. Перевагами пневматичного стартера в порівнянні з електростартерною системою є: відсутність або менша ємність АКБ; зберігання потужності при низьких температурах; швидка зарядка ресивера; більший термін використання ресивера в порівнянні з АКБ.

У *гідропневматичних системах* пуску також використовується енергія стисненого повітря, тільки елементом передачі енергії (поршнем) є рідина.

Принцип дії *інерційних стартерів* оснований на використанні енергії, накопиченої в маховій (інерційній) масі. Кінетична енергія маховика пропорційна квадрату кутової швидкості обертання й моменту інерції маховика. За способом розкручування інерційної маси розрізняють стартери: з ручним приводом, з приводом від електродвигуна, електроінерційні із додатковим ручним приводом (сполучені), з приводом від ДВЗ малої потужності. Основною перевагою електроінерційних стартерів в порівнянні з електростартерами прямого пуску є значно менша потужність електродвигуна та менша ємність АКБ. До недоліків електроінерційних стартерів слід віднести: відносно тривалий пуск; конструктивна обмеженість махової маси; підвищена вартість; низький коефіцієнт корисної дії; недостатня надійність пристрою підключення [10].

2.1.2. Особливості будови електростартерів

Система електростартерного пуску включає: електростартер, АКБ, засоби керування (замок запалювання, реле блокування, вимикач маси, прилади контролю).

Електростартер складається із трьох основних вузлів: стартерного електродвигуна, тягового реле, механізму привода. Різновиди технічних рішень електростартерів наведено на рис. 2.1.2.

Стартерні електродвигуни постійного струму розрізняються за конструкцією щітко-колекторного вузла та типом збудження. Більшість стартерних електродвигунів мають традиційну циліндричну конструкцію колектора.



Рис. 2.1.2. Технічні рішення електростартерів

Застосування двигунів з торцевим колектором дозволяє знизити витрати міді, зменшити осьову довжину стартера, підвищити технологічність виготовлення колектора.

У стартерних електродвигунах застосовується послідовне або змішане електромагнітне збудження і збудженням від постійних магнітів. Тип збудження двигуна постійної напруги визначає вид його електромеханічних та механічних характеристик. Послідовне збудження є переважним з боку мінімізації діапазону коливань струму стартерної мережі при значних змінах обертового моменту. При змішаному збудженні виключається ймовірність розносу двигуна підвищеної потужності. Застосування постійних магнітів як джерела незалежного збудження дозволяє отримати задовільні характеристики та підвищити технологічність виготовлення і компактність високошвидкісного електродвигуна, який доповнюється понижуючим (планетарним) редуктором [10, 17]. Щоб вплинути на характеристики елек-

тродвигуна при зміні його навантаження передбачається часткове (секційне) перемикання котушок збудження.

Тягове реле являє собою втяжний електромагніт. За конструкцією електричного кола розрізняють однообмоткові й двообмоткові тягові реле. Однообмоткові реле прості у виготовленні, однак, мають недоліки властиві електромеханічним перетворювачам (значне споживання електроенергії, інерційність). Застосування двообмоткових реле дозволяє позбавитись цих недоліків (значно зменшити витрати електроенергії за період пуску, позбавитись негативної дії залишкового магнетизму, досягти безударного рушання стартера) і як наслідок, підвищити надійність роботи механізму привода. Щоб виключити ймовірність помилкового стартування, коли увімкнена швидкісна передача, забезпечують блокування реле від коробки передач. В деяких типах стартерів дистанційне керування за допомогою тягового реле не використовується. В таких стартерах ввід шестерні в зачеплення здійснюється механічним важелем з кабіни водія, а електродвигун підключається до живлення кнопкою вмикання.

Механізм приводу узгоджує та передає обертовий момент, що розвиває електродвигун, на колінчастий вал ДВЗ. В процесі пуску виконуються чотири операції: механічне під'єднання (ввід шестерні в зачеплення з вінцем маховика), вмикання стартерного двигуна, відключення стартерного двигуна, механічне роз'єднання ДВЗ та стартера. За послідовністю підключення розрізняють стартери з попереднім зачепленням приводної шестерні (застосування муфт вільного ходу) та з одночасним вмиканням електродвигуна (застосування інерційних муфт). Відключення відбувається або одночасно, або з попередньою зупинкою стартерного двигуна. На практиці знайшли поширення чотири варіанти технічних рішень стартерів залежно від типу механізму привода [10, 20].

1. Стартери з примусовим механічним або електромеханічним переміщенням шестерні привода застосовуються на вітчизняних та зарубіжних автомобілях з використанням *муфт вільного ходу* різних конструкцій. З підвищенням потужності таких стартерів знижується надійність механізму привода.

2. Стартери з примусовим електромеханічним введенням шестерні в зачеплення з вінцем маховика й *інерційним самовимиканням* шестерні після пуску ДВЗ. Використовується в стартерах підвищеної

потужності. Прості в експлуатації мають малі розміри, дешеві, однак включення шестерні супроводжується ударним навантаженням.

3. Стартери з введенням та виведенням шестерні за рахунок інерційної муфти дозволяють уникнути недоліків попереднього варіанта.

4. Стартери з електромагнітним введенням шестерні в зачеплення за рахунок *осьового переміщення якоря*. Переміщення якоря здійснюється під дією магніторушійних сил додаткових полюсів статора (замість тягового реле). Такі стартери компактні, але мають підвищену витрату міді й недостатню надійність роботи на ухилах. Знаходять застосування в зарубіжних автомобілях.

Залежно від конструкції робочого органа та принципу дії бувають кулькові, роликові, (плунжерні, безплунжерні), дискові (фрикційні) та храпові муфти вільного ходу (МВХ), які відрізняються за експлуатаційними показниками (надійність, утримуючий момент, момент вільного ходу, шумність) [1, 10, 20]. Найбільше розповсюдження отримали роликові МВХ завдяки своїм перевагам: простота конструкції; нечутливість до забруднення; надійність в експлуатації. В порівнянні з роликовими, храпові МВХ мають більше механічне навантаження при менших розмірах. Фрикційні дискові муфти застосовуються на потужних стартерах. Недоліком фрикційної муфти є зміна максимального моменту, що передається в процесі експлуатації внаслідок зносу дисків.

Шестерня привода стартера може встановлюватись між опорами під передньою кришкою або консольно за її межами. Друге рішення застосовується в стартерах з інерційним приводом та в стартерах з осьовим переміщенням якоря.

В окремих типах стартерів передня опорна кришка зовсім відсутня. При цьому опора з боку приводу розташована в картері маховика, а корпус стартера кріпиться через фланцевий отвір безпосередньо на картері ДВЗ. Такий підхід дозволяє поліпшити компактність конструкції ДВЗ у зборі.

Перспективним напрямком в проектуванні систем пуску є застосування електричних машин подвійного призначення. Діностартер – електрична машина, що виконує функції стартера в режимі пуску ДВЗ і функції генератора на робочих режимах ДВЗ. При цьому механічний зв'язок між ДВЗ і діностартером не усувається, а тільки змінюється за рахунок передаточного числа.

Використання потужного стартерного електродвигуна вимагає наявності на борту автомобіля потужного джерела електричної енергії – стартерних АКБ. Потужність, що розвиває АКБ, порівняна з потужністю стартерного електродвигуна. Тому характеристики АКБ залежать від режиму стартерного розряду (сили струму, температури, тривалості пуску) і впливають на характеристики стартерного електродвигуна і на процес (результативність) пуску взагалі.

АКБ при пуску повинна забезпечувати певний струм без зміни напруги батареї нижче мінімального значення $U_{\text{АБ.min}}$ (6 – 8 В для дванадцяти вольтових АКБ). Величина $U_{\text{АБ.min}}$ визначається, з одного боку, характеристиками стартерного електродвигуна і тягового реле, з іншого – припустимим зниженням напруги первинного кола системи запалювання. Характеристики стартерного електродвигуна будуються з урахуванням падіння напруги на внутрішньому опорі АКБ. З метою забезпечення надійного підключення стартера та достатньої енергії іскроутворення під час пуску ДВЗ, тягове реле та котушка запалювання розраховуються на понижену напругу. Щоб виключити перевантаження котушки запалювання після пуску ДВЗ, коли стартер відключено та напруга бортової мережі дорівнює номінальному значенню, в первинне коло системи запалювання вводять активний опір додаткового резистора. На період пуску ДВЗ додатковий резистор виключається з кола котушки.

2.1.3. Аналіз технічних рішень систем керування стартером

У завданні на проектування системи пуску, в залежності від типу транспортного засобу та умов його експлуатації, визначається спосіб вмикання та вимикання стартера (безпосереднє, дистанційне або автоматичне керування).

На відміну від безпосереднього керування стартером (включення електродвигуна й введення шестірні в зачеплення з кабіни водія) при дистанційному керуванні використовують електромагнітні тягові реле, керовані або контактами замка запалювання, або додатковим реле стартера (ДРС). В другому випадку утворюється подвійна дистанція по керуванню, з метою струмового розвантаження контактів замка запалювання. Крім того, друга контактна пара ДРС забезпечує шунтування додаткового опору в первинному колі ко-

тушки запалювання (пасивна компенсація знижки напруги АКБ при працюючому стартері).

На рис. 2.1.3 наведено схему системи дистанційного керування стартером при застосуванні двохобмоткового тягового реле.

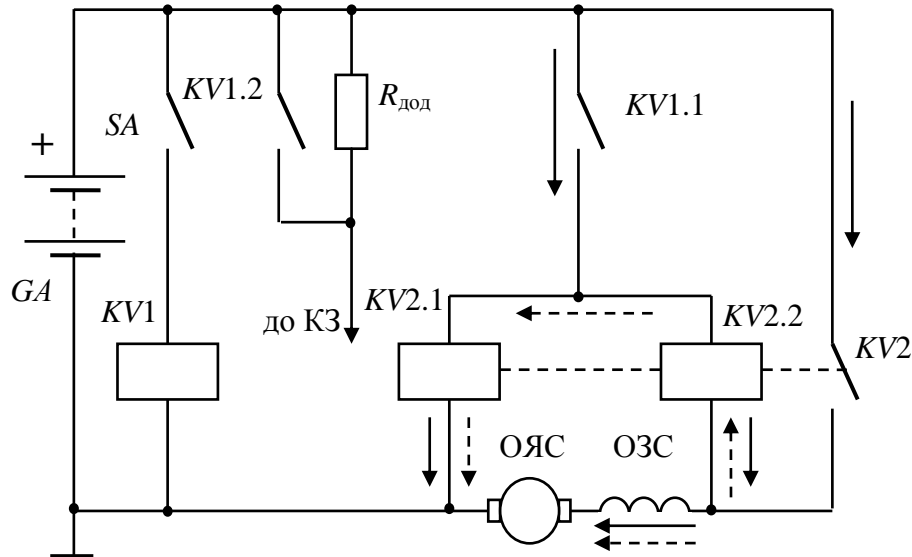


Рис. 2.1.3. Схема двохобмоткового дистанційного керування електростартером

На наведеній схемі такі позначення: *GA* – акумуляторна батарея, *SA* – замок запалювання; *KV1* – обмотка додаткового реле стартера з нормально розімкнутими контактами *KV1.1*, *KV1.2*; *KV2* – силові контакти тягового реле, що керуються утримуючою *KV2.1* та тяговою *KV2.2* обмотками; *R_{дод}* – додатковий опір у первинному колі котушки запалювання; *ОЯС*, *ОЗС* – якірна обмотка та обмотка збудження стартерного електродвигуна.

При установці замка запалювання в положення «Пуск» контакти *SA* замикаються, обмотка ДРС *KV1* підключається до напруги АКБ, контакти *KV1.1*, *KV1.2* замикаються. Через замкнуті контакти *KV1.1* утримуюча *KV2.1* та тягова *KV2.2* обмотки підключаються до напруги АКБ. Обмотки тягового реле утворюють потоки спрямовані узгоджено. Під дією електромагнітної сили обох обмоток відбувається втягування якоря реле. Струм, що проходить через тягову обмотку та обмотки стартера, створює деякий обертовий момент на валу електродвигуна (підключення електродвигуна на часткову напругу). В результаті при русі шестерні в зачеплення одночасно відбувається вибір люфту між шестернями стартера й вінця маховика

колінчастого вала. Завдяки цьому, рушання стартера при включенні електродвигуна на повну напругу (через силові контакти *KV2*) відбувається без удару. Наприкінці ходу якоря реле силові контакти *KV2* замикаються, підключаючи електродвигун на повну напругу АКБ, відбувається прокручування ДВЗ стартером. При цьому силові контакти *KV2* шунтують тягову обмотку, знеструмлюючи її. Таким чином тягова обмотка не споживає енергію АКБ в період обертання стартера.

Після пуску ДВЗ замок запалювання переводиться в положення «Запалювання» контакти *SA* розмикаються і контакти реле *KV1* повертаються в розімкнений стан. У початковий момент струм, що проходить через силові контакти *KV2*, живить тягову *KV2.2* й утримує *KV2.1* обмотки. При цьому направлення струмів в обмотках зустрічно й результуючий потік дорівнює нулю (якщо кількість витків обмоток однакова). Якір тягового реле під дією пружини повертається у вихідний стан, силові контакти розмикаються, знеструмлюючи електродвигун, шестерня приводу виходить із зачеплення. Зустрічне включення обмоток при вимиканні стартера дозволяє позбавитись залишкового магнетизму, який спричиняє магнітну інерційність тягового реле при поверненні якоря реле в початковий стан.

Для виключення поломок механізму приводу та підвищення строку служби стартера необхідно своєчасно відключати стартер після пуску ДВЗ. З метою об'єктивної оцінки моменту запуску ДВЗ в системах пуску потужних двигунів застосовують автоматичне відключення стартера [1, 10, 18, 20]. При використанні на автомобілі генераторів постійного струму, автоматичне відключення стартера можна робити через систему електропостачання (рис. 2.1.4).

Згідно зі схемою: ОЯГ, ОЗГ – якірна обмотка та обмотка збудження генератора; РН – регулятор напруги; *KV3* – реле зворотного струму; інші позначення такі ж, як на рис. 2.1.3. Система керування функціонує так.

При замкнутих контактах замка запалювання *SA* обмотка додаткового реле *KV1* підключається до напруги АКБ через якірну обмотку генератора. Спрацьовування додаткового реле приводить до запуску стартера. На момент запуску ДВЗ генератор виробляє напругу, за величиною близьку до напруги АКБ.

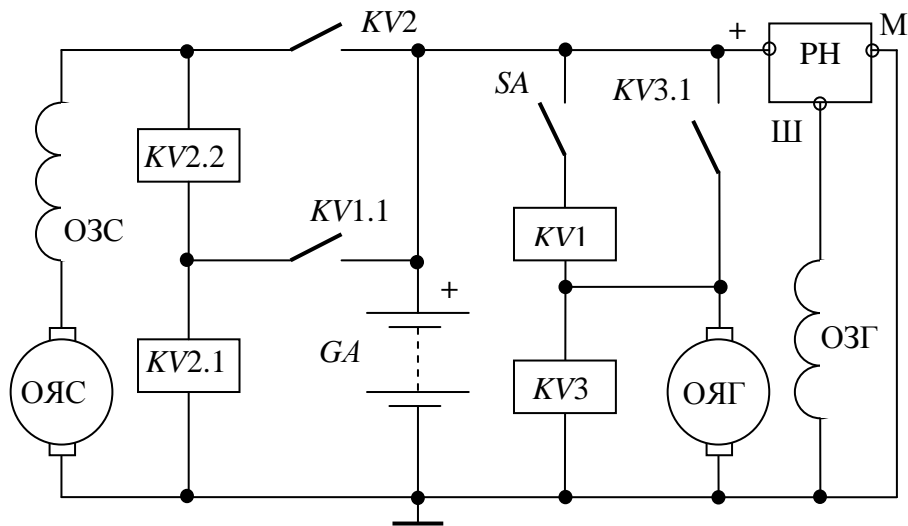


Рис. 2.1.4. Схема автоматичного відключення стартера в системах живлення з генераторами постійного струму

При цьому відбувається вирівнювання потенціалів виводів обмотки $KV1$, вона знеструмлюється, контакти $KV1.1$ розмикаються і стартер відключається. Одночасно напруга генератора прикладена до обмотки реле $KV3$ (реле зворотного струму) достатня для замикання контактів $KV3.1$ і генератор підключається до АКБ, забезпечуючи її заряд.

В системах електрообладнання з генераторами змінного струму такий підхід виключається у зв'язку з високим опором вентилів на виході генератора. На сучасних автомобілях застосовують системи автоматичного відключення стартера з електронними реле блокування [1, 20] (рис. 2.1.5).

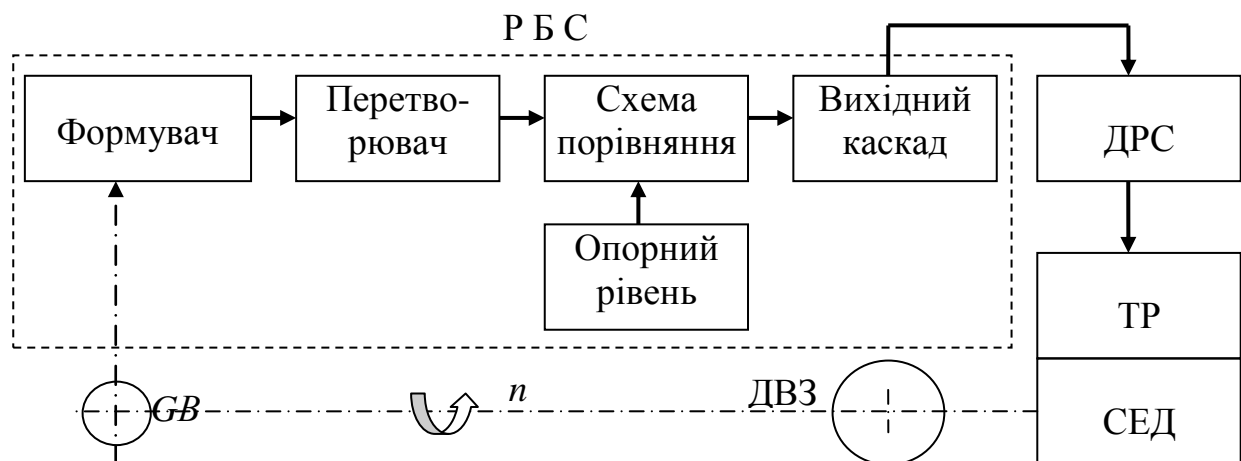


Рис. 2.1.5. Функціональна схема системи автоматичного відключення стартера

Система функціонує так. Сигнал з датчика частоти обертання колінчастого вала GV у вигляді змінної напруги надходить в електронне реле блокування стартера РБС. Як сигнал датчика частоти обертання можна також використовувати пульсуючу напругу генератора змінного струму.

Формувач дозволяє одержати імпульси рівної амплітуди та однакової полярності. Сформований сигнал надходить на перетворювач частота/напруга. Напруга з перетворювача, пропорційна частоті обертання колінчастого вала, надходить на схему порівняння поточного значення напруги на виході перетворювача з напругою опорного рівня. При перевищенні напруги сигналу над опорним рівнем формується сигнал на відключення стартера. Щоб забезпечити достатню потужність сигналу керування в навантаженні застосовується підсилювач струму (вихідний каскад).

Навантаженням вихідного каскаду є обмотка додаткового реле стартера ДРС, яке комутує струм у колі живлення тягового реле. Крім того, у вихідному каскаді передбачають тригерний захист від повторного вмикання стартера при працюючому ДВЗ.

В разі необхідності застосування стартера підвищеної напруги в системах з номінальною напругою 12 В використовують дві АКБ, які на етапі пуску вмикають послідовно. Після запуску ДВЗ, АКБ вмикаються паралельно та функціонують в режимі циклування з подвійною ємністю.