



керуючий імпульс зворотної (негативної) полярності під дією якого тиристор зачиняється. Таким чином відбувається комутація струму у первинній обмотці котушки запалювання. Час накопичення енергії як і в системах з транзисторною комутацією, визначається часом замкненого стану переривника (4.2.2).

Тиристорні системи з накопиченням енергії в ємності поділяють на імпульсні та безперервні. При імпульсному накопиченні процеси заряду й розряду конденсатора розділені паузами. На рис. 4.4.2 показана схема тиристорної системи з безперервним накопиченням енергії в ємності.

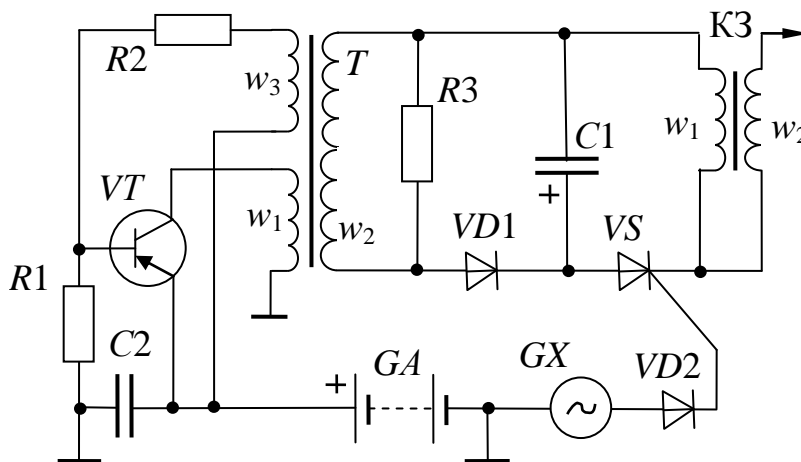


Рис. 4.4.2. Тиристорна система запалювання з безперервним накопиченням енергії в ємності

Транзистор  $VT$ , резистори  $R1$ ,  $R2$  та конденсатор  $C2$  складають схему релаксаційного автоколивального генератора навантаження якого є первинна обмотка  $w_1$  трансформатору  $T$  (обмотка  $w_3$  утворює коло позитивного зворотного зв'язку під час зачинення  $VT$ ). У вторинній обмотці трансформатору  $w_2$  індуються імпульси підвищеної напруги. Конденсатор  $C1$  заряджається під дією імпульсів позитивної полярності через діод  $VD1$ . Резистор  $R3$  розсіює потужність імпульсів зворотного напрямку. Елементи генератору і випрямляча складають статичний одноктний перетворювач низької постійної напруги АКБ в підвищену напругу (300...600 В) постійного струму для зарядження накопичувального конденсатору  $C1$ . При обертанні ротора датчика  $GX$  позитивні імпульси в певні моменти часу відчиняють тиристор  $VS$ , конденсатор  $C1$  розряджається на первинну обмотку  $w_1$  котушки запалювання  $K3$ . У вторинній обмотці

котушки запалювання індукуються висока напруга (див. рис. 4.2.11). Розряд конденсатора  $C1$  приводить до зменшення напруги на тиристорі нижче критичного значення і тиристор зачиняється. Далі процес повторюється.

Схема системи з імпульсним накопиченням енергії в ємності зображена на рис. 4.4.3.

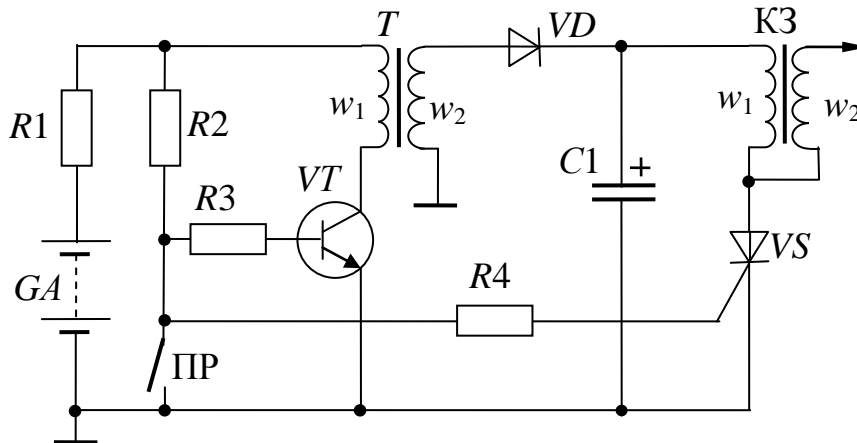


Рис. 4.4.3. Тиристорна система запалювання з імпульсним накопиченням енергії в ємності

Замикання контактів переривника  $PP$  знеструмлює коло бази транзистора  $VT$  викликаючи його запирання й індукування ЕРС в обмотках трансформатора  $T$ . Під дією імпульсу ЕРС вторинної обмотки  $w_2$  конденсатор  $C1$  заряджається через діод  $VD$  до напруги 200...400 В. Тиристор  $VS$  на цьому етапі зачинений (керуючий електрод підключений до маси через контакти  $PP$ ).

При розмиканні контактів  $PP$  по колу  $R1$ ,  $R2$ ,  $R4$  виникає струм, що відчиняє тиристор  $VS$ . Конденсатор  $C1$  при цьому розряджається через відкритий тиристор на первинну обмотку котушки запалювання  $K3$ . Імпульс розрядного струму утворює ЕРС самоіндукції первинної та взаємоіндукції вторинної обмоток  $K3$ .

#### 4.4.2. Електронне керування моментом запалювання

Механічні автомати випередження запалювання (відцентрові, вакуумні) реалізують прості функціональні залежності та мають не задовільні характеристики з боку надійності, стабільності та точності. Електронні регулятори моменту запалювання позбавлені недо-

ліків, які пов'язані зі зношуванням механічних частин. Режимні параметри ДВЗ в електронних автоматах випередження вимірюються безконтактними датчиками, а корекція моменту запалювання реалізується шляхом фазового зсуву моменту зачинення комутуючого елемента відносно імпульсів сигналу запалювання на аналоговому або цифровому рівні.

Схема системи з електронним (аналоговим) автоматом випередження складається з: датчику сигналу запалювання  $GX1$ ; каскаду що формує тривалість імпульсу, побудованого за схемою одно-вібратора (транзистори  $VT1, VT2$ ); виконавчого транзистору  $VT3$ ; котушки запалювання  $K3$ ; нелінійного датчика положення дросельної заслінки (навантаження)  $R_{ДН}$ ; датчика частоти обертання генераторного типу  $GX2$ ; нелінійного датчика температури охолоджуючої рідини  $R_{ДТ}$  (рис. 4.4.4).

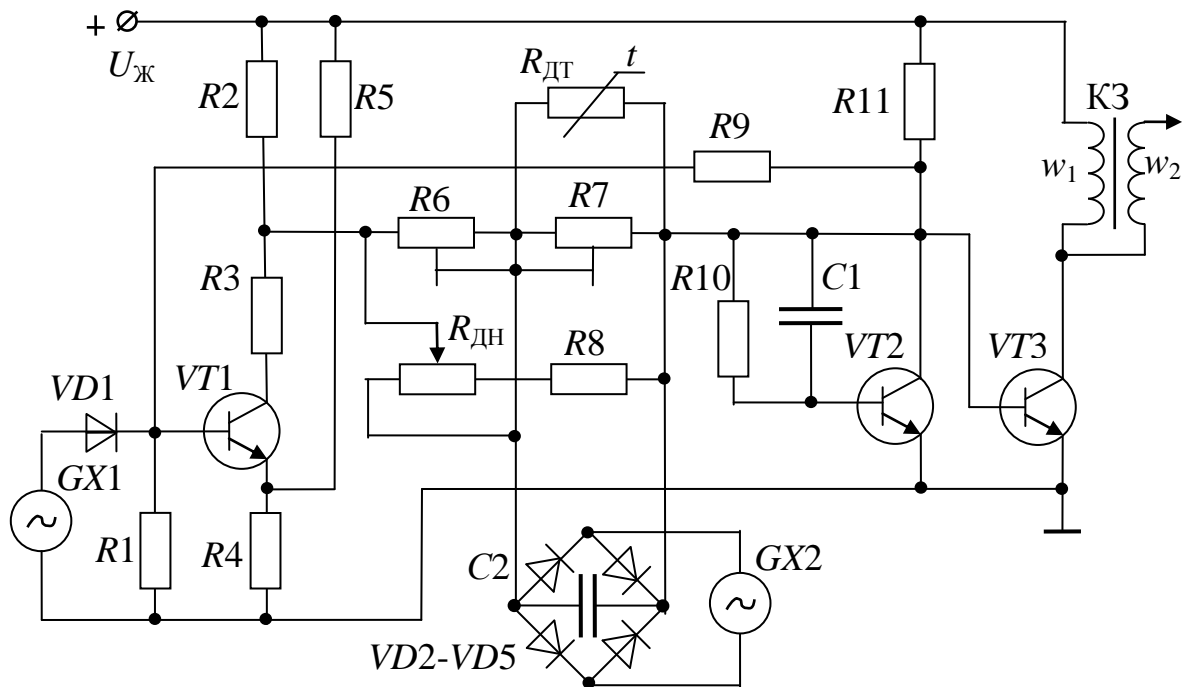


Рис. 4.4.4. Схема системи запалювання з електронним керуванням моменту запалювання

В початковому стані схеми сигнали датчиків  $GX1, GX2$  відповідають обертам холостого ходу, опір  $R_{ДТ}$  – температурі холодного ДВЗ, опір  $R_{ДН}$  – зачиненому стану дросельної заслінки (відсутності навантаження) практично дорівнює нулю. Сигнал з датчика  $GX1$  запускає одно-вібратор, який формує імпульс затримки. Тривалість імпульсу затримки визначається постійною часу  $RC$  кола ( $R2, R6,$

$R7||R_{\text{дт}}$ ,  $C1$ ) яка обирається для початкового стану такою, що момент запалювання в режимі пуску й на холостому ході ДВЗ є оптимальним (найменший кут випередження).

Сигнал від датчика частоти  $GX2$  перетворюється випрямлячем  $VD2...VD5$  з ємністю, що згладжує  $C2$  до відповідного рівня постійної напруги. Ця напруга прикладена до активної складової час-задаючого кола  $R7||R_{\text{дт}}$  у зворотному напрямку. З підвищенням обертів, напруга датчика  $GX2$  збільшується, а струм в прямому напрямку через  $R7||R_{\text{дт}}$  зменшується (зростає постійна часу). Це приводить до збільшення тривалості імпульсу затримки та як наслідок до більш раннього зачинення  $VT3$ .

По мірі відчинення дросельної заслінки (підвищення навантаження ДВЗ), опір реостатного датчика  $R_{\text{дн}}$  зростає, що також приводить до більш раннього запалювання. Аналогічну реакцію викликає зміна опору датчика температури  $R_{\text{дт}}$ .

Вихідну тривалість імпульсу одинвібратора (постійну часу  $RC$  кола) настроюють шляхом підбору опорів резисторів  $R6$ ,  $R7$ . При цьому прагнуть досягти необхідну залежність результуючого кута випередження запалювання від частоти обертання, навантаження та температурного стану двигуна.

#### **4.4.3. Нормування часу накопичення енергії**

Нормування часу накопичення енергії дозволяє оптимізувати режим роботи котушки запалювання (реалізувати реактивний потенціал індуктивності, виключити теплові втрати в первинній обмотці котушки запалювання). В результаті в системах з нормованим часом накопичення вдається стабілізувати амплітуду імпульсів високої напруги в швидкісному діапазоні ДВЗ, поліпшити температурний режим котушки запалювання, підвищити ККД системи [20].

Функція нормування реалізується шляхом зміни відносного часу включеного стану первинної обмотки котушки запалювання  $\gamma$ , згідно співвідношенню (4.2.4). Схема аналогово регулятора часу накопичення енергії (РЧН), яка побудована на інтеграторі та компараторі з використанням операційних підсилювачів показана на рис. 4.4.5.

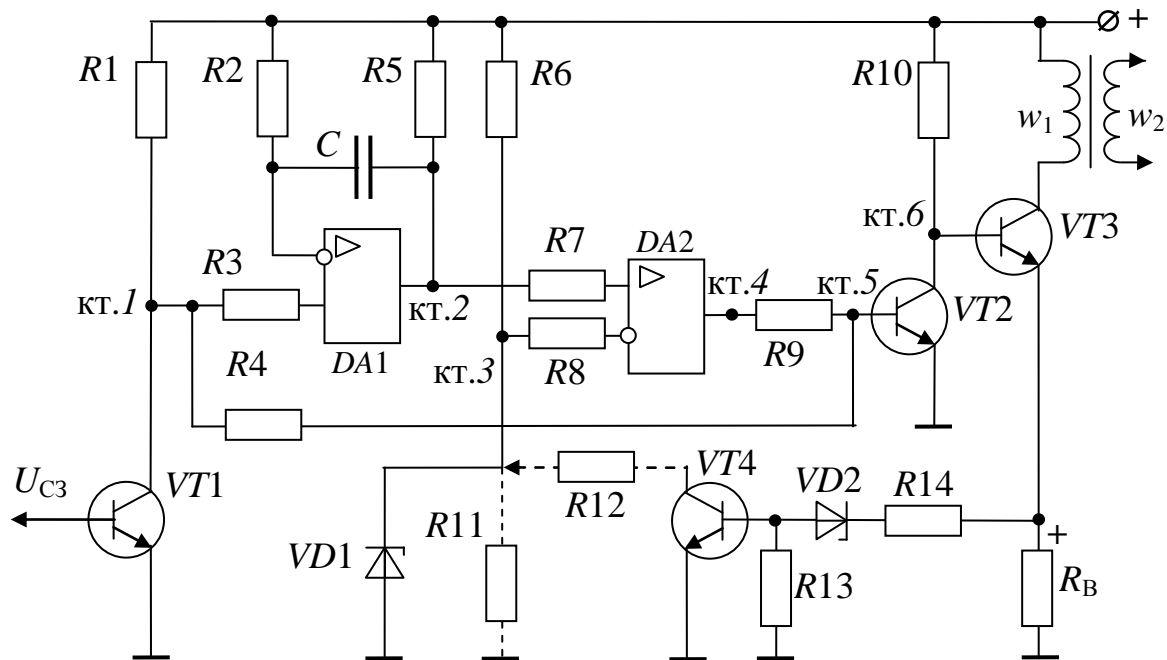


Рис. 4.4.5. Схема нормування часу накопичення енергії

Робота РЧН проілюстрована часовими діаграмами напруги в контрольних точках схеми (рис. 4.4.6).

На вхід комутатора струму з датчика системи надходить сформований сигнал запалювання  $U_{C3}$  постійної шпаруватості та амплітуди (рис. 4.4.6). Транзистор  $VT1$  інвертує імпульси  $U_1$  які подаються на неінвертований вхід інтегратора ( $DA1, C, R2, R3, R5$ ). На вхід компаратора ( $DA2, R7, R8$ ) надходять інтегровані імпульси  $U_2$  напруга яких порівнюється з напругою опорного рівня  $U_3$ . В результаті, на виході компаратора формуються імпульси  $U_4$  тривалість яких  $t_4$  зменшується з підвищенням частоти імпульсів  $U_{C3}$  (обертів ДВЗ) за рахунок зменшення часу заряд-розряд ємності інтегратора. Напруга опорного рівня  $U_3$  (контрольна точка кт. 3) забезпечується параметричним стабілізатором  $VD1, R6$ .

На базу транзистора  $VT2$  схеми логічного складання надходять два сигнали  $U_1$  і  $U_4$ . Тривалість відчиненого  $VT2$  ( $U_5$ ), а отже й зачиненого  $VT3$  ( $U_6$ ) станів транзисторів, визначається загальним часом дії обох імпульсів. Таким чином час відчиненого стану  $VT3$  (час накопичення енергії  $t_H$ ) по відношенню до тривалості вхідних імпульсів  $U_{C3}$  зменшується без порушення моменту запалювання.

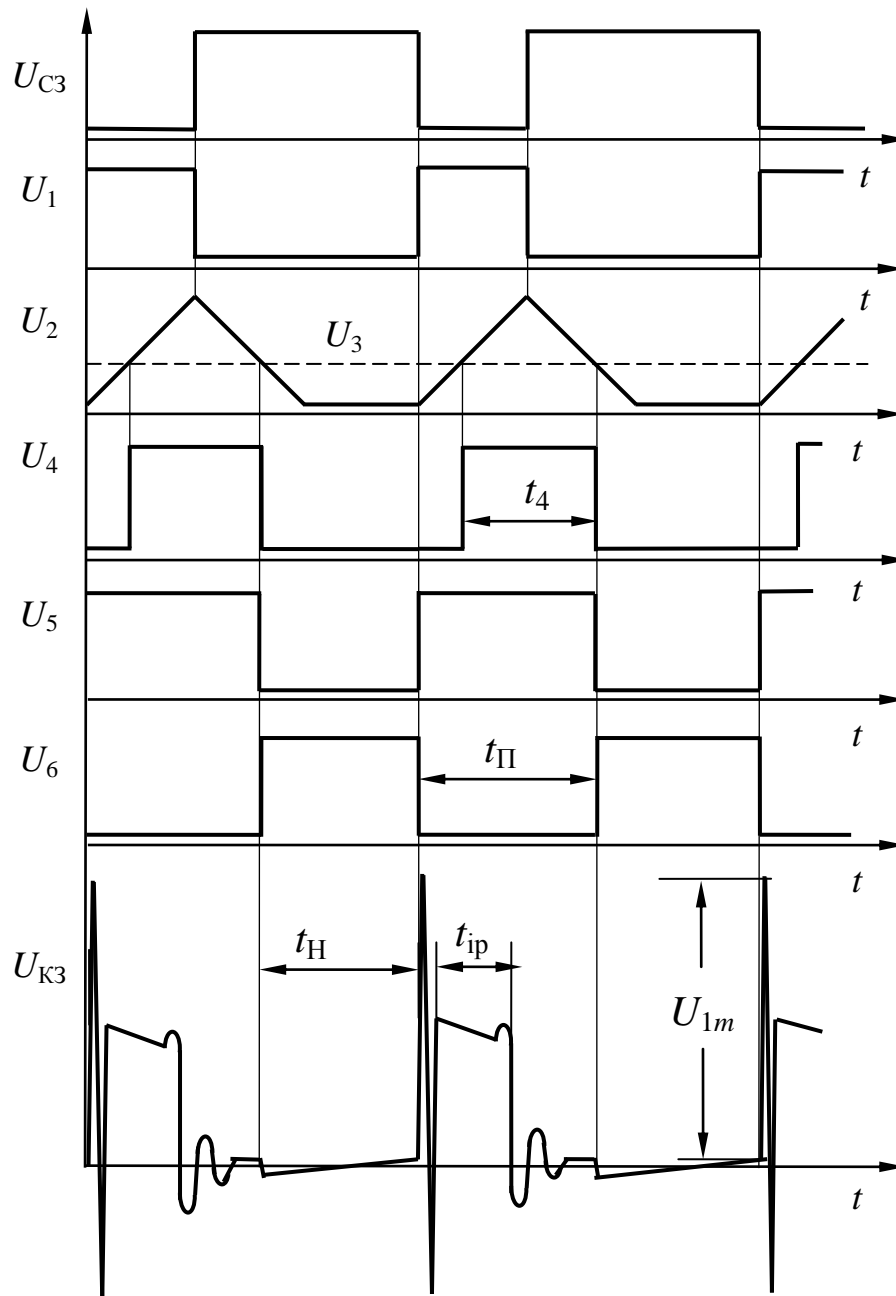


Рис. 4.4.6. Часові діаграми напруги в контрольних точках РЧН

З метою усунення впливу дестабілізуючих факторів (розкиду параметрів котушки запалювання, температурних змін параметрів елементів схеми, коливань напруги живлення) на точність нормування, схеми РЧН роблять адаптивними. При цьому напругу опорного рівня компаратора  $U_3$  задають через коло негативного від'ємного зворотного зв'язку ( $VT4$ ,  $VD2$ ,  $R11 \dots R14$ ) замість стабілітрона  $VD1$  (рис. 4.4.5, пунктирні лінії). Для адаптивної схеми

опорний рівень  $U_3$  залежить від струму розриву, величина якого визначає енергію накопичену в котушці запалювання.

Процес адаптації полягає в наступному. Якщо струм первинного кола перевищує нормовані значення, стабілітрон  $VD2$  пробивається під напругою, що спадає на вимірювальному резисторі  $R_B$  і утворює падіння напруги на резисторі  $R13$ . Під дією цієї напруги транзистор  $VT4$  відчиняється в лінійному режимі і його вихідний опір зменшується пропорційно струму стабілізації  $VD2$ . В результаті, еквівалентний опір нижнього плеча дільника напруги  $R6$ ,  $R11$  знижується і напруга опорного рівня  $U_3$  зменшується. Зменшення напруги  $U_3$ , у свою чергу, приводить до збільшення тривалості імпульсів  $t_4$  та як наслідок зменшується час накопичення  $t_H$  за рахунок збільшення часу паузи  $t_{II}$  при заданому періоді іскроутворення.

#### ***4.4.4. Оптимізація параметрів на мікропроцесорному рівні***

Використання засобів цифрової електроніки та мікропроцесорних пристроїв в системах запалювання дозволяє реалізувати складні (багато параметричні) функції перетворення режимних параметрів ДВЗ до параметрів сигналу запалювання з високою роздільною здатністю та точністю. На відзнаку від пристроїв які будують на базі аналогових і цифрових приладів (апаратні перетворювачі), в мікропроцесорних пристроях перетворення сигналів відбувається на програмному рівні. Тому для зміни алгоритмів керування та калібрувальної інформації в мікропроцесорних системах, що проектуються, замість апаратних (схемних) втручань зазвичай достатньо обмежитись тільки поновленням програмного забезпечення (виконати програмні втручання).

В системах запалювання на мікропроцесорному рівні вирішуються задачі: оптимізації моменту запалювання; нормування часу накопичення енергії; керування параметрами та структурою іскрового розряду; низьковольтного розподілу запалювання по циліндрах; оптимізації кількості робочих циліндрів. Крім того в мікропроцесорних системах запалювання не складно реалізуються адаптаційні алгоритми з використанням зворотних зв'язків (гнучке керування). Щоб виключити вплив зміни структурних параметрів системи або ДВЗ (в процесі експлуатації) на її оптимальне функціону-



вання, застосовують зворотні зв'язки по детонації, напрузі живлення, вторинній напрузі по циліндрах, якості згоряння палива.

Функція зміни оптимального кута випередження є багатопараметричною і її не можна визначити шляхом простого додавання; функціональних залежностей які одержані на основі характеристик механічних або електронних автоматів випередження запалювання. В мікропроцесорних системах складні (негладкі) функції перетворення (характеристичні карти) зберігаються в пам'яті контролера (постійно програмованому запам'ятовуючому пристрої ППЗП) у вигляді двійкових кодів. Трьохмірна інтерпретація калібрувальної інформації відображена на рис. 4.4.7.

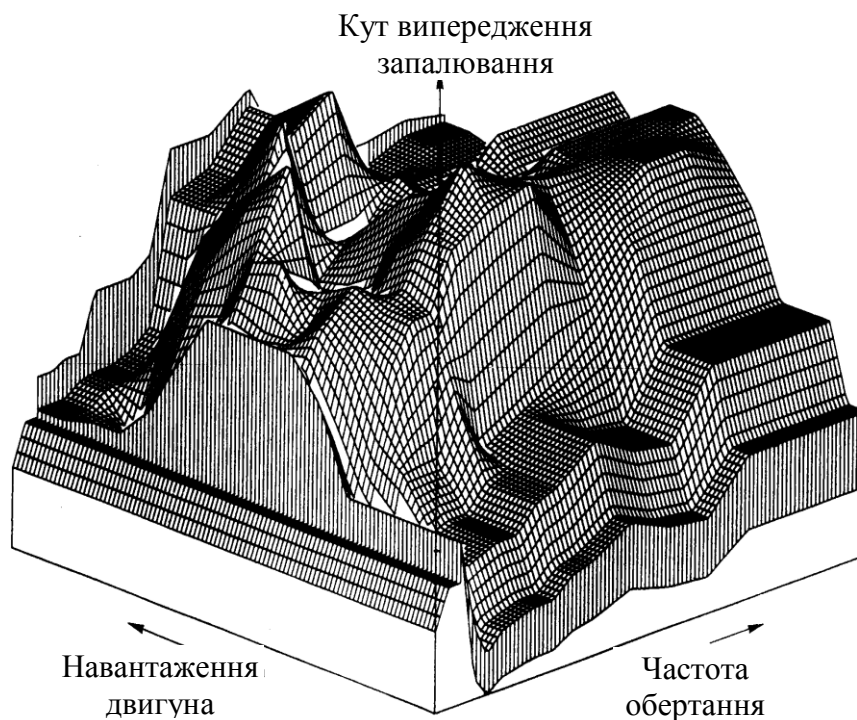


Рис.4.4.7. Характеристична карта кутів випередження запалювання

Такі функції зазвичай отримують за результатами стендових випробувань двигуна для якого проектується система запалювання. Заповнення характеристичних карт проводять для повного поля значень режимних параметрів ДВЗ. Як критерії оптимізації кута випередження запалювання, при цьому, розглядають ефективну потужність в циліндрах ДВЗ, миттєву витрату палива, концентрацію шкідливих речовин в відпрацьованих газах.

Мікропроцесорна система керування запалюванням складається з комплексу безконтактних датчиків (частоти обертання ДЧО, кутового положення колінчастого валу ДКП, навантаження двигуна ДН, температури охолоджуючої рідини ДТ, детонації ДД, якості згоряння палива ДЯЗ), електронного блоку керування (ЕБК), комутатора струму  $VT$ , та котушки запалювання КЗ (рис. 4.4.8).

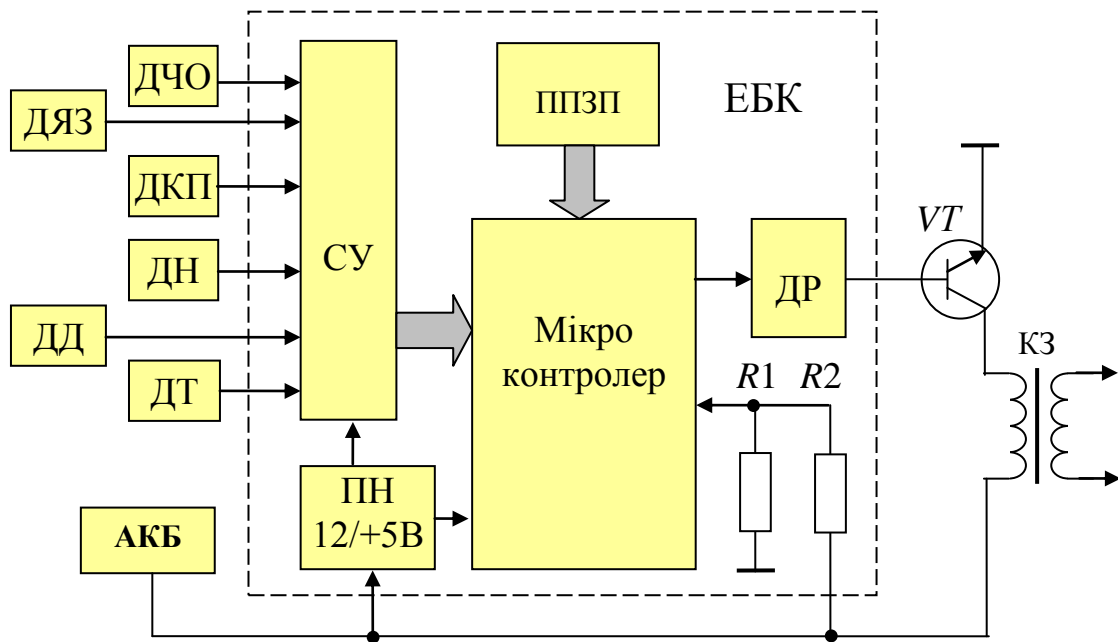


Рис. 4.4.8. Схема мікропроцесорної системи запалювання

Поточна інформація про режими ДВЗ від датчиків надходить в мікроконтролер через схеми узгодження СУ. Схеми узгодження (дільники напруги, формувачі, лічильники, АЦП) перетворюють сигнали датчиків до нормованого цифрового вигляду. У відповідності до режимів ДВЗ мікроконтролер оперативно вилучає з пам'яті (ППЗП) оптимальні значення кутів випередження та реалізує їх як фазовий зсув сигналу запалювання. Драйвер ДР, забезпечує достатню потужність та необхідну форму сигналу керування силовим ключем  $VT$ . Рівень напруги АКБ є додатковим інформаційним параметром (напруга на дільнику  $R1$ ,  $R2$ ) який використовується для нормування часу накопичення енергії в КЗ. Робоча програма компенсує зниження бортової напруги (живлення КЗ) шляхом збільшення часу керуючих імпульсів (часу накопичення). Функціональні блоки ЕБК та датчики системи живляться від джерела стабілізованої напруги (ПН).

Застосування мікропроцесорних пристроїв дає можливість формувати необхідну структуру іскрового розряду шляхом керування процесу комутації струму в котушці запалювання. Багатоіскровий розряд таких систем запалювання дозволяє збільшити загальний час іскроутворення для ефективного підпалювання збіднених та перезбіднених паливних сумішей.

Силова частина багатоіскрової системи запалювання живиться від перетворювача підвищеної напруги постійного струму (ПН) та використовує комбінований спосіб накопичення енергії в  $LC$  елементах (рис. 4.4.9).

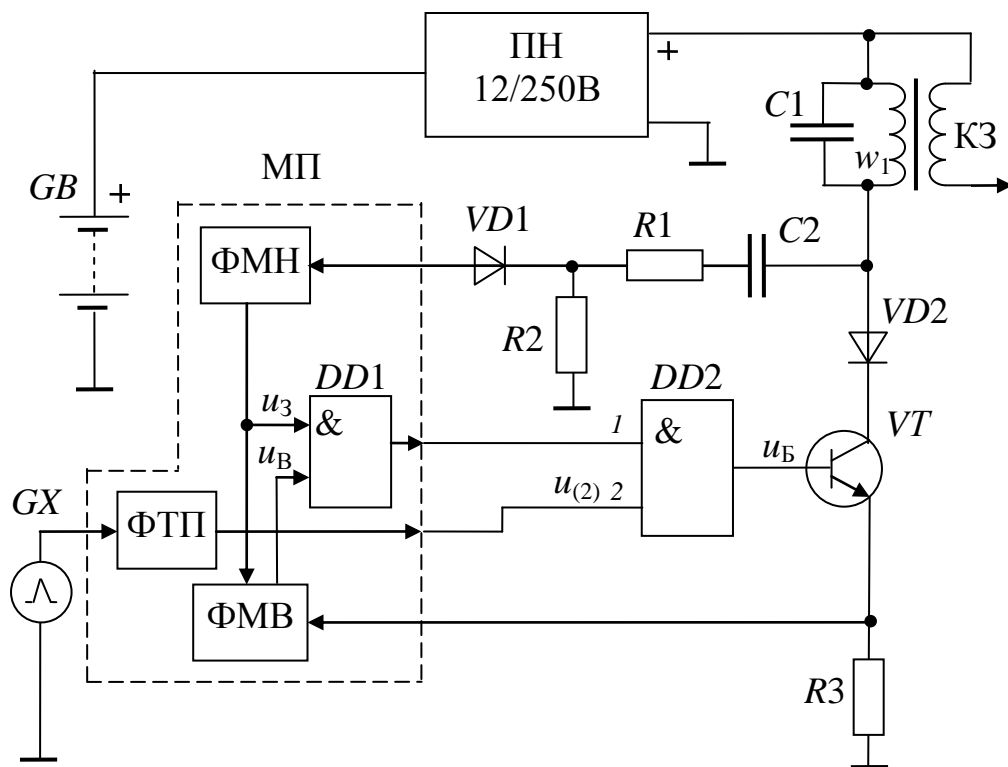


Рис. 4.4.9. Схема багато іскрової системи запалювання з підкачкою енергії в первинне коло

Алгоритм підкачки енергії реалізується на мікропроцесорному пристрої (МП) та включає програмні формувачі тривалості пакету іскор (ФТП), моменту накопичення (ФМН), моменту відсічки струму (ФМВ). У початковому стані виконавчий транзистор  $VT$  зачинений, сигнал на виході ФМВ відсутній, на вході 1 схеми дозволу  $DD2$  логічний сигнал забезпечено. Функціонування системи пояснюються часовими діаграмами (рис. 4.4.10).

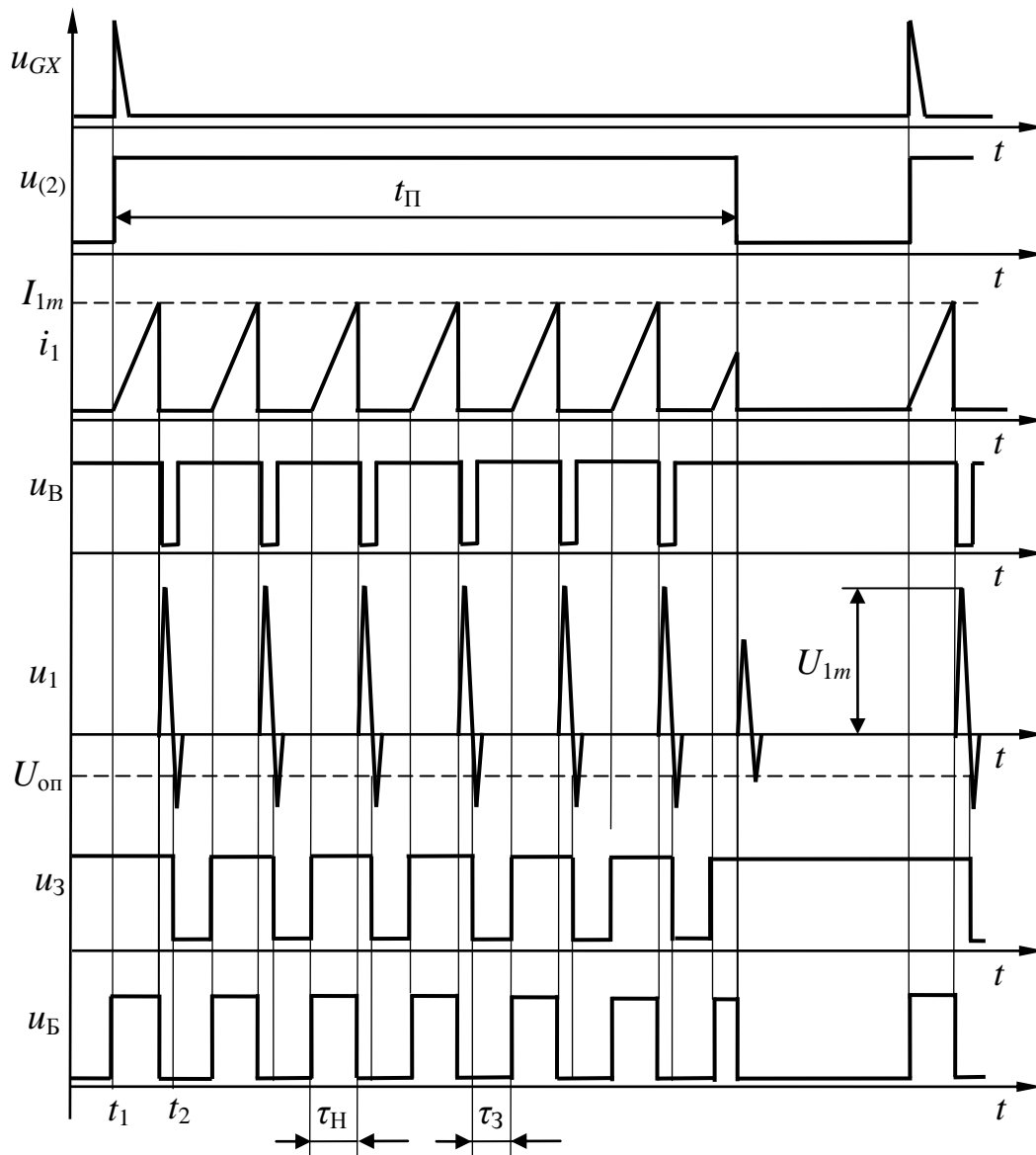


Рис. 4.4.10. Часові діаграми напруги багато іскрової системи запалювання з підкачкою енергії в первинне коло

Синхронізуючий імпульс датчика моменту запалювання  $u_{GX}$  надходить в ФТП (програмний одновібратор), який формує імпульс  $u_{(2)}$  певної тривалості  $t_{\Pi}$  на вході 2 DD2. При цьому (на момент запалювання  $t_1$ ), напруга на виході DD2 забезпечує відчинення виконавчого транзистора VT який підключає первинне коло котушки КЗ до джерела підвищеної напруги 250В. Струм  $i_1$  через первинну обмотку  $w_1$  зростає, конденсатор C1 заряджається, відбувається накопичення енергії в елементах первинного кола. Струм  $i_1$  утворює падіння напруги на вимірювальному резисторі R3. Ця напруга сприймається як сигнал негативного зворотного зв'язку який поступає на

схему порівняння ФМВ. На момент часу коли струму в котушці досягне заданого рівня  $I_{1m}$ , сигнал відсічки  $u_B$  зачиняє ключ  $VT$  (по входу  $1 DD2$ ). Енергія, накопичена в котушці  $K3$ , перетворюється в іскровий розряд та в контурі первинного кола  $C1$ ,  $w_1$  відбувається коливальний процес, який з часом затухає. Діод  $VD2$ , на цей час, захищає транзистор від перенапруги інверсної полярності (див. рис. 4.3.6, г). Частота коливального процесу залежить від параметрів паралельного контуру (становить близько 10 кГц). Перша негативна півхвиля напруги  $u_1$  на контурі реєструється через формуюче коло зворотного зв'язку ( $R1, R2, C2, VD1$ ) та порівнюється з опорною напругою  $U_{оп}$  в ФМН. При цьому (на момент  $t_2$ ) формується сигнал затримки  $u_3$  з тривалістю  $\tau_3$ , який підтримує зачинений стан силового ключа та відновлює напругу  $u_B$ . Після паузи  $u_3(\tau_3)$  процес повторюється. В результаті, ключ  $VT$  під дією напруги на базі  $u_B$  перебуває у відчиненому стані протягом часу  $\tau_H$ .

Параметри оптимальних значень  $\tau_H(I_{1m}), \tau_3(U_{оп}), t_{П}(n)$  для заданих частот обертання ДВЗ вилучаються з запам'ятовуючого пристрою МП. Таким чином, схема підкачки підтримує амплітуду імпульсів первинного кола та забезпечує іскроутворення протягом фіксованого часу  $t_{П}$  за результатами вимірювання параметрів вихідного сигналу (струму  $I_{1m}$  та напруги  $u_1$ ),.

Багатоіскровий розряд можна отримати шляхом безпосередньої (примусової) комутації струму в первинному колі. Для цього також використовують джерело підвищеної напруги (ПН) з буферною ємністю  $C_1$  та обирають певні значення параметрів контуру  $C_1, L_1, r_{VT}$  при яких постійна часу кола має певне співвідношення з періодом комутації (рис. 4.4.11).

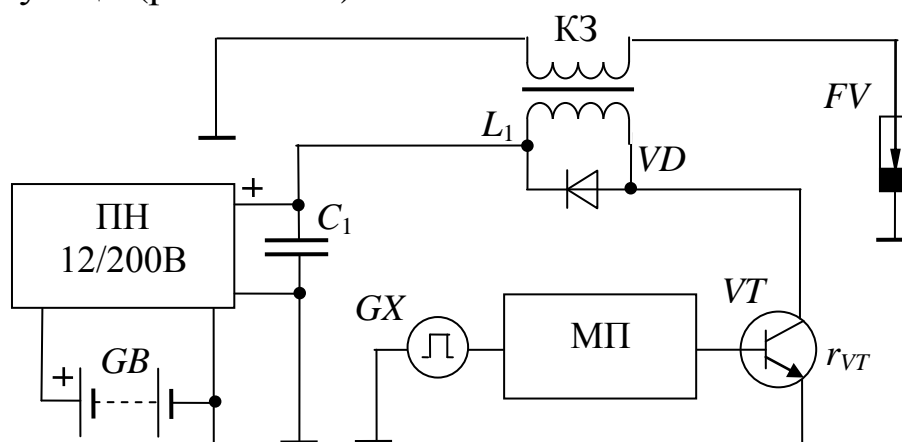


Рис. 4.4.11. Схема багато іскрової системи запалювання безпосередньої дії

Сигнал на вході МП такої системи нормований за загальним часом багатоіскрового розряду та синхронізований за оптимальним моментом запалювання. Програма блоку МП розраховує оптимальну кількість та шпаруватість переривань струму в котушці запалювання за заданий час іскрового розряду. Як підсумок зазначимо основні переваги мікропроцесорних систем:

- необмежена функціональність;
- мобільність адоптації до ДВЗ (чіп-тюнинг ЕБК);
- виключення похибок вимірювання режимних параметрів, що пов'язані з механічними вузлами;
- можливість вимірювання режимних параметрів (частоту обертання, навантаження та температуру ДВЗ) з заданою точністю;
- можливість відтворення оптимального моменту запалювання як функції від багатьох режимних параметрів;
- виключення впливу дестабілізуючих факторів (температури, якості напруги, зміни структурних параметрів елементів) на характеристики системи;
- можливість реалізації багатоіскрового розряду заданої структури з нормованими параметрами.

#### ***4.4.5. Застосування статичного розподілу вторинної напруги***

Роторні іскрові розподільники високої напруги мають недоліки пов'язані з обмеженим ресурсом механічних вузлів. Крім того, при динамічному розподілі напруги виникають втрати енергії на іскровому проміжку розподільника, що погіршує енергетичні параметри іскрового розряду на свічці запалювання.

Застосування електронних комутаторів струму дозволяє здійснити розподіл високовольтних імпульсів по циліндрах ДВЗ шляхом комутації низьковольтних кіл котушки (котушок) запалювання (низьковольтний або статичний розподіл). Статичний розподіл напруги реалізується декількома способами [1, 17, 20, 22].

На рис. 4.4.12, а показаний варіант системи запалювання із застосуванням одновивідних котушок запалювання традиційного виконання. На кожному свічку запалювання працює індивідуальна котушка запалювання  $T1...T4$  яка керується відповідним транзисторним ключем  $VT1...VT4$ .

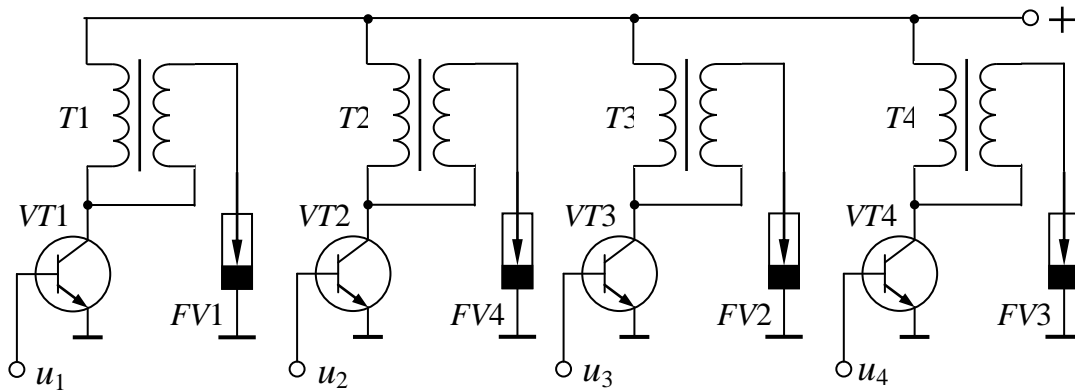


Рис. 4.4.12. Система з автономними котушками запалювання

Ключі керуються сигналами  $u_1 \dots u_4$ , які надходять з контролеру або чотирьох каналного комутатора.

В сучасних системах керування ДВЗ застосовують автономні котушки запалювання (див. рис. 4.1.5, в), які конструктивно поєднані з виконавчим транзистором та встановлюються безпосередньо на свічку запалювання.

На двигунах з парними циліндрами момент запалювання яких зміщений на  $360^\circ$  використовують двохвивідні котушки запалювання (див. рис. 4.1.5, б, г). В таких системах з «холостою іскрою» іскрові проміжки свічок запалювання  $FV$  включені послідовно й іскроутворення відбувається одночасно у двох циліндрах. При цьому, одна іскра реалізується в такті розширення (холоста іскра), а інша - у такті стиску (робоча іскра). Для чотирициліндрового двигуна використовують дві котушки запалювання, керовані по первинному колу двоканальним комутатором (рис. 4.4.13, б).

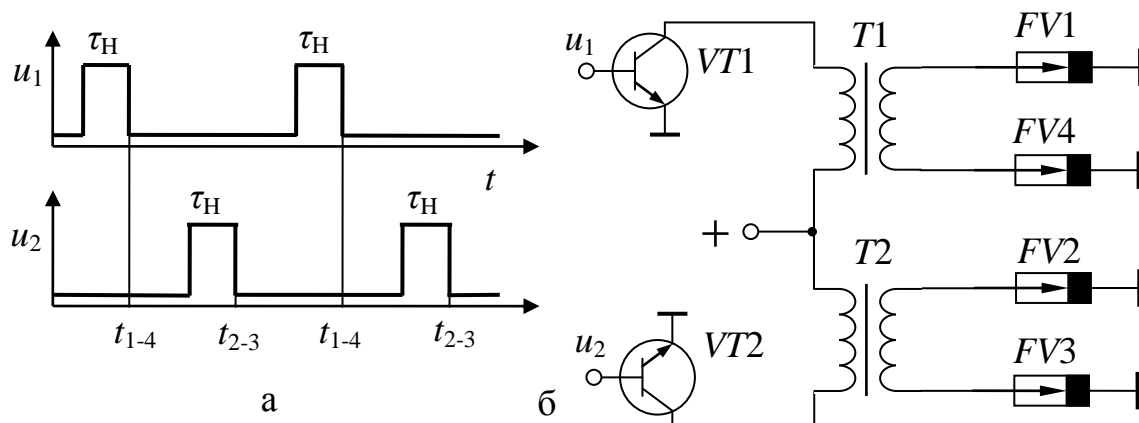


Рис. 4.4.13. Система запалювання з «холостою» іскрою: а – часові діаграми керуючих сигналів; б – схема електрична принципова

Для такої схеми формуються два сигнали керування  $u_1$  і  $u_2$  тривалість імпульсів яких  $\tau_H$  визначає час накопичення енергії в котушках запалювання. Моменти часу  $t_{1-4}$ ,  $t_{2-3}$  цих сигналів відповідають моментам запалювання в парних циліндрах (рис. 4.4.13, а). В сучасних системах керування ДВЗ виконавчі транзистори та котушки запалювання систем запалювання з «холоостою іскрою» конструктивно об'єднують в модулі запалювання (див. рис. 4.1.5, б, г).

Як перспективні рішення для чотирьохциліндрових ДВЗ розглядають системи з «холоостою іскрою» в яких використовується одна ускладнена котушка запалювання. Така котушка має дві первинні обмотки які включені зустрічно та перемагнічують сердечник у двох напрямках. Високовольтні імпульси розподіляються по циліндрах завдяки вентильній розв'язці на високовольтних діодах  $VD1 \dots VD4$  (рис. 4.4.14).

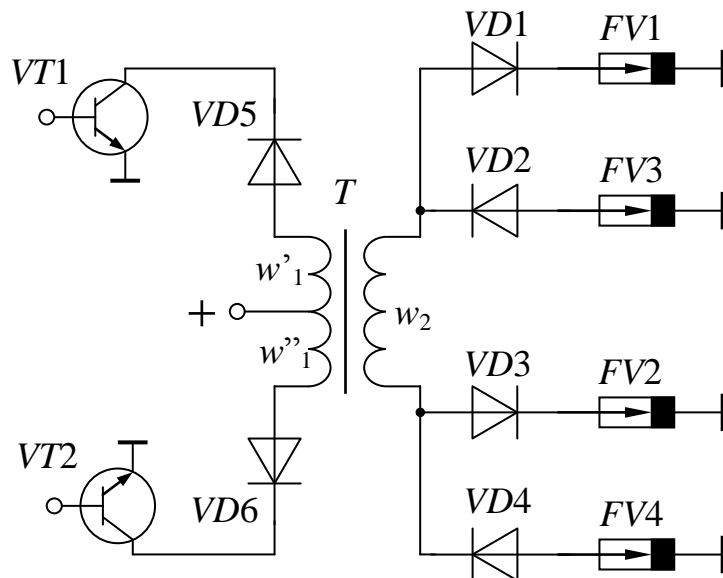


Рис. 4.4.14. Система запалювання з вентильним розподілом напруги

Полярність вторинної напруги визначається напрямком укладки витків первинних обмоток. Коли напруга має позитивну полярність, відчиняються високовольтні діоди  $VD1$ ,  $VD4$  та у відповідних циліндрах двигуна відбувається іскровий розряд (робоча та холоста іскри). При перериванні струму в другій первинній обмотці, полярність вторинної напруги змінюється на протилежну. При цьому іскровий розряд виникає в двох циліндрах двигуна з свічками  $FV2$  і  $FV3$ . Для виключення взаємного впливу первинних обмоток в пері-



од утворення імпульсів високої напруги до їх виводів низької напруги підключені розділювальні діоди  $VD5, VD6$ .

В другому варіанті, чотирьох вивідна котушка запалювання має дві незалежні вторинні обмотки. Така котушка являє собою дві двохвивідні котушки, зібрані на спільному Ш – подібному магнітопроводі (рис. 4.4.15).

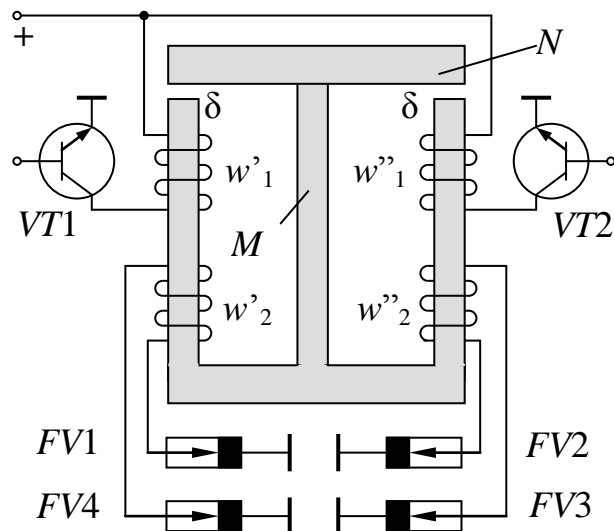


Рис. 4.4.15. Система з чотирьох вивідною котушкою запалювання

В такій конструкції спільним елементом є середній стержень магніторовіду  $M$ , а взаємний вплив двох котушок виключається завдяки наявності двох повітряних прогалин  $\delta$ .