

## 2.2. Способи вимірювання діагностичних параметрів електричних систем

### 2.2.1. Вимірювання напруги та струму

Значення напруги та струму, що вимірюються в різних точках електричних кіл електрообладнання автомобіля, розглядаються як діагностичні параметри. Для вимірювання напруги застосовуються вольтметри різних типів. Класифікація вольтметрів за загальними ознаками наведена на рис. 2.2.1.



Рис. 2.2.1. Класифікація вольтметрів

Аналогічним чином можна класифікувати і вимірювачі струму (амперметри). Основними параметрами за якими обирають вимірювач напруги чи струму (тип вольтметра чи амперметра) є: рід напруги (струму); максимальне значення вимірюваної величини; вхідний опір приладу; клас точності (похибка вимірювань); чутливість та перевантажувальна здатність; стійкість до зовнішніх впливів. Для вольтметрів та амперметрів змінної напруги визначним параметром також є частотний діапазон в якому забезпечується нормована точність вимірювань.

Вольтметри та амперметри безпосередньої оцінки (аналогові прилади) – електромеханічні стрілочні прилади різних вимірювальних систем кожна з яких має свої переваги та недоліки стосовно їх використання у якості вимірювачів напруги чи струму.

В більшості випадків, в приладах для вимірювання постійної напруги та струму застосовують магнітоелектричні вимірювальні системи, які мають задовільні метрологічні характеристики в діапазонах невеликих значень вимірюваних величин. Вимірювальна обмотка таких приладів (мікроамперметрів) розрахована на вимірювання слабких струмів та має досить великий опір  $r_A = 10 \dots 100$  Ом.

До недоліків магнітоелектричних вимірювальних систем слід віднести: низький (для вольтметрів) та високий (для амперметрів) вхідний опір (обмежений діапазон вимірюваних величин), чутливість до перевантажень та зовнішніх впливів. Позбавитись більшості цих недоліків можна шляхом підключення додаткового опору (резисторів) у вимірювальне коло.

Слід зауважити, що в реальних вольтметрах безпосередньої оцінки для розширення границі вимірювання, зазвичай, використовують вимірювальні голівки мікроамперметрів з каліброваним резистором, який підвищує вхідний опір приладу.

Для розширення діапазону вимірювань, підвищення вхідного опору вольтметрів та зниження вхідного опору амперметрів безпосередньої оцінки використовують багато граничні прилади за схемами дільника напруги та дільника струму (рис. 2.2.2).

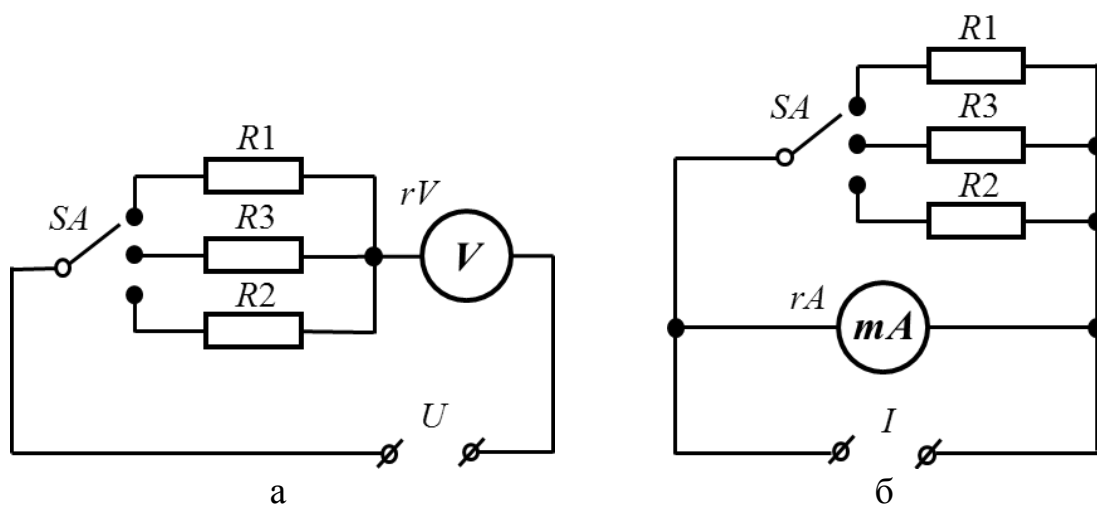


Рис 2.2.2. Схеми багато граничних вимірювальних приладів:  
 а - вольтметра; б - амперметра

В таких вольтметрах послідовно з вимірювальною голівкою, що має границю вимірювання  $V_{1.\max}$ , включається додатковий резистор добавки  $R_D$  (рис. 2.2.2, а), величина опору якого разом з власним опором голівки  $r_V$ , визначає вхідний опір  $R_{V.\text{вх}}$  та границю вимірювання вольтметра  $V_{2.\max}$ .

$$R_{V.\text{вх}} = r_V + R_D, \quad V_{2.\max} = V_{1.\max} \frac{r_V + R_D}{r_V}, \quad R_D = r_V \left( \frac{V_{2.\max}}{V_{1.\max}} - 1 \right).$$

Для розширення діапазонів вимірювань амперметрів (від границі  $A_{1.\max}$ , до границі  $A_{2.\max}$ ) паралельно з вимірювальною голівкою підключається додатковий резистор шунта  $R_{\text{ш}}$  (рис. 2.2.2, б). В такому разі параметри приладу визначаються за формулами

$$R_{A.\text{вх}} = \frac{r_A \cdot R_{\text{ш}}}{r_A + R_{\text{ш}}}, \quad A_{2.\max} = A_{1.\max} \frac{r_A + R_{\text{ш}}}{R_{\text{ш}}}, \quad R_{\text{ш}} = r_A \frac{A_{1.\max}}{A_{2.\max} - A_{1.\max}}.$$

В приладах для вимірювання більших значень вимірювальних величин застосовують менш чутливі вимірювальні системи (електромагнітні, електродинамічні, електростатичні). Подальший шлях розширення діапазонів вимірювання полягає у використанні безконтактних способів підключення приладів (застосування датчиків електричних величин). Так наприклад для вимірювання змінної напруги використовуються ємнісні та індуктивні датчики, а для вимірювання змінного струму – індукційні. В такому разі, вимірювальна система, зазвичай, доповнюється вторинним перетворювачем енергії сигналу (електронним підсилювачем). Для вимірювання миттєвих значень постійного струму використовуються магнітоелектричні перетворювачі (лінійні датчики Холла) та амперметри побудовані на їх основі (рис. 2.2.3).



Рис 2.2.3. Зовнішній вигляд безконтактних вимірювачів струму:  
а – датчик струму; б - кліщовий амперметр

Використання безконтактних амперметрів особливо актуально у випадках коли підключення приладу в розрив кола гальванічним способом утруднено або не можливо (наприклад стартерна мережа).

*Електронні вольтметри* мають електронну вимірювальну частину (перетворювач напруги), що дозволяє значно підвищити вхідний опір приладу ( $R_{вх} = 10...100$  мОм) та його чутливість. У якості індикатора в таких вольтметрах використовується аналоговий прилад безпосередньої оцінки *PV* (рис. 2.2.4).

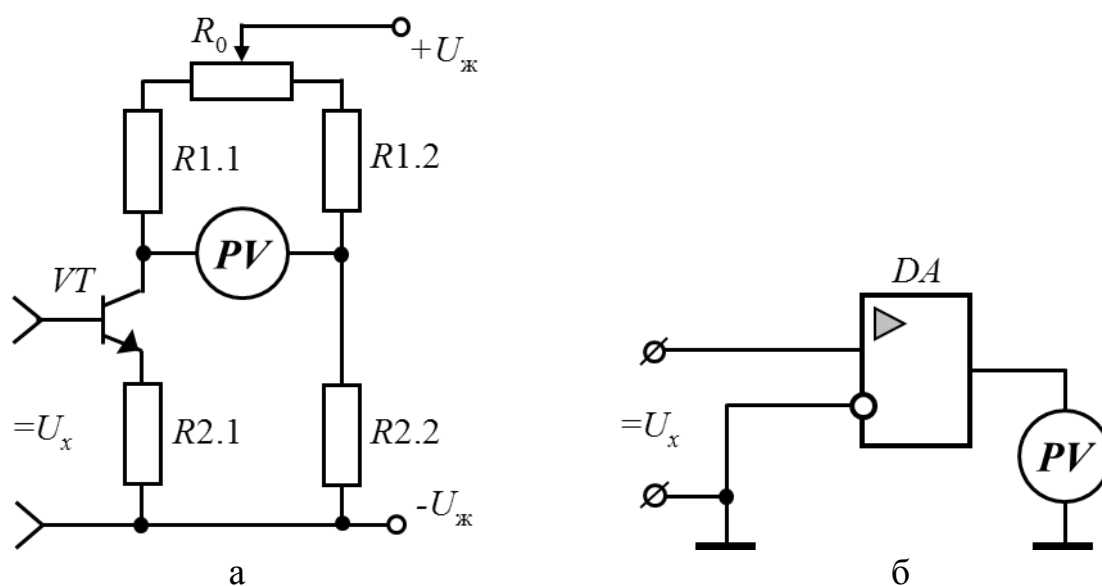


Рис 2.2.4. Схемні рішення електронних вольтметрів постійного струму:  
 а – на дискретних елементах; б – з використанням операційного підсилювача

Для усунення дрейфу нуля й одержання лінійних функцій перетворення сигналу вольтметри електронного типу будують за мостовою схемою з керуючим транзистором *VT* (рис. 2.2.4, а), або застосовують операційний підсилювач *DA* (рис. 2.2.4, б).

У *цифрових вольтметрах* як вимірювальна частина використовується аналогово-цифровий перетворювач (АЦП), а у якості індикатора – цифровий індикатор (рис. 2.2.5). На рисунку позначено: ГРІ – генератор рахункових імпульсів; ДЧ – дільник частоти; ГПШ – генератор пилкоподібних імпульсів; СП – схема порівняння; ТШ – тригер Шмідта; СД – схема дозволу; ЦЛ – цифровий лічильник; ПК – перетворювач коду індикатора; ЦІ – цифровий індикатор.

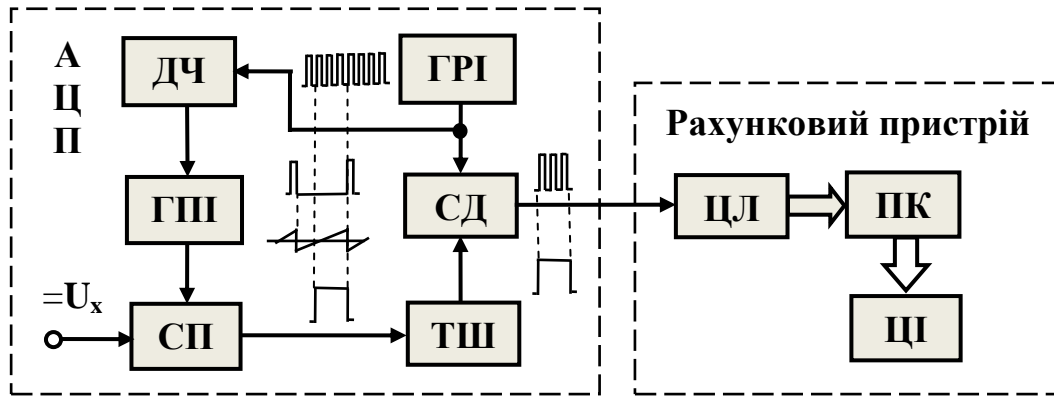


Рис 2.2.5. Функціональна схема цифрового вольтметра

Цифрові вольтметри мають високий вхідний опір  $R_{вх} > 10 \text{ мОм}$  і високу роздільну здатність, яка визначається числом знаків після коми на пристрої індикації.

Зазвичай, всі стрілочні електромеханічні й інтегруючі цифрові вимірювальні прилади розраховані на вимірювання діючого чи середньоквадратичного значення напруги або струму. Для несинусоїдальних величин середньоквадратичне значення визначається через сукупність складових гармонік розкладу по рядах Фур'є. Якщо величина носить імпульсний характер і до того ж шпаруватість проходження імпульсів значна, виникають складнощі, щодо визначення її діючого значення. Збільшення періоду інтегрування миттєвих значень у таких випадках досягають застосуванням детекторів середньоквадратичних значень з термоперетворювачами (рис. 2.2.6).

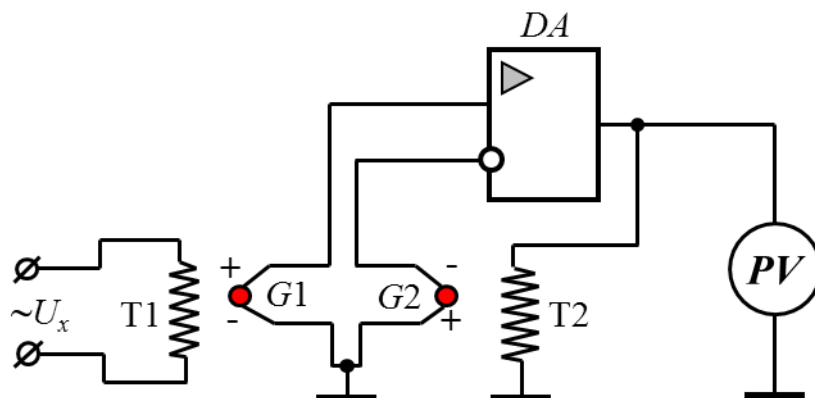


Рис 2.2.6. Принципова схема детектора середньоквадратичних значень з термоперетворювачами

Електричний сигнал подається на нагрівальний елемент  $T_1$ , який збуджує в термопарі  $G_1$  електрорушійну силу (ЕРС) постійного значення пропорційну середньоквадратичному значенню величини, яка вимірюється. Другий термоперетворювач  $T_2$ ,  $G_2$ , включений у коло від'ємного зворотного зв'язку підсилювача  $DA$  стабілізує процес вимірювання. Поряд із простотою перетворення сигналу вимірювач такого типу має малий вхідний опір і значний час вимірювання.

В *пікових вольтметрах* використовуються пікові детектори (рис.2.2.7, а).

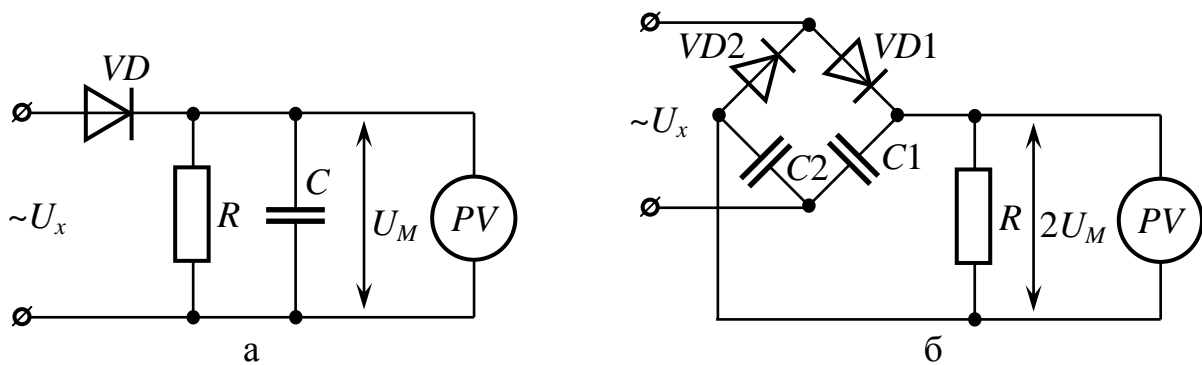


Рис. 2.2.7. Принципові схема пікових вольтметрів:  
а – вимірювач амплітуди; б – вимірювач розмаху

Піковий детектор містить однонапівперіодний випрямляч на діоді  $VD$  та інтегруючу ємність  $C$ . Для вимірювання розмаху змінної напруги, використовуються *вимірювачі розмаху* (рис. 2.2.7, б). Такі прилади дозволяють вимірювати напругу в діапазоні  $U_x=0,2\dots 300$  В, з частотою до  $f=1000$  мГц. Похибка вимірювань при цьому не перевищує 5%, а вхідний опір зазвичай складає  $R_{вх} = 50$  кОм.

*Селективні вольтметри* призначені для вимірювання рівня напруги окремих гармонійних складових сигналу і визначення коефіцієнта гармонік. Вибіркова частина вольтметра реалізується шляхом включення смугового фільтру СФ в коло від'ємного зворотного зв'язку широкосмугового підсилювача  $DA$  (рис. 2.2.8). При настроюванні фільтру ( $RC$ -контур) на обрану частоту коефіцієнт передачі кола зворотного зв'язку приймає мінімальні значення, в наслідок чого зростає коефіцієнт підсилення основного тракту і напруга на виході підсилювача досягає максимуму. Після випрямляча ВП, вихідна напруга реєструється вольтметром постійного струму.

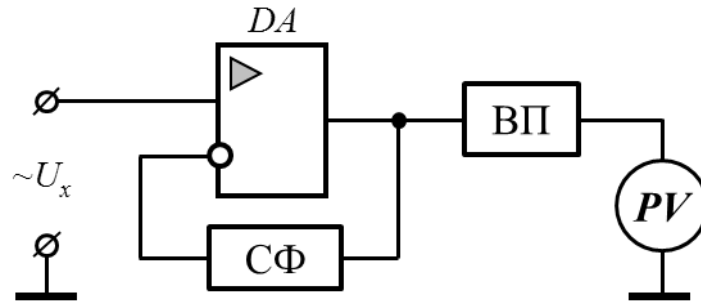


Рис 2.2.8. Принципова схема селективного вольтметра

Більшу вибірковість і широкий діапазон вимірюваних частот забезпечують селективні вольтметри побудовані за схемою гетеродину (аналогічно радіоприймачам). Вольтметри такого типу застосовуються при аналізі електромагнітної сумісності АТЗ в радіочастотному діапазоні і характеризуються діапазоном перетину і смугою пропускання сигналу.

### ***2.2.2. Використання вимірювальних генераторів і вимірювання частоти сигналу***

У системах автоматичного керування робочими процесами і руху автомобіля як інформаційні використовуються періодичні сигнали, частота яких пропорційна частоті обертання колінчастого вала ДВЗ, осі коліс чи швидкості руху автомобіля. До таких систем можна віднести системи: автоматичного пуску і керування ДВЗ, круїз-контролю, антиблокувальні системи і системи стабілізації курсової стійкості автомобіля й ін.

Під час діагностування перелічених систем на борту автомобіля та їх окремих агрегатів та електронних блоків в умовах електровідділення виникає необхідність відтворювати сигнали, що імітують сигнали датчиків обертання. У якості імітаторів сигналів датчиків можуть використовуватися універсальні вимірювальні генератори низькочастотного діапазону й імпульсні генератори.

Генератори будуються за базовими схемними рішеннями: кварцового резонатора, реактивної трьох точки (гармонійні коливання), мультівібратора (прямокутних імпульсів), блокінг-генератора (імпульсів малої шпаруватості).

Основними параметрами, що характеризують вихідний сигнал генератора є амплітуда, частота, форма, шпаруватість, вихідний опір (потужність) генератора. Останній параметр може бути визначений експериментально при підключенні до генератора навантаження з відомим опором  $R_H$

$$R_{Г.ВИХ} = R_H \frac{E}{U} - 1 ,$$

де  $E$  – величина напруги (ЕРС) на виході ненавантаженого генератора;

$U$  – падіння напруги на навантаженні при визначеній ЕРС.

В універсальних вимірювальних генераторах передбачено оперативне регулювання і контроль параметрів сигналу. Генератори імпульсів широкого застосування класифікуються за декількома ознаками (рис. 2.2.9).

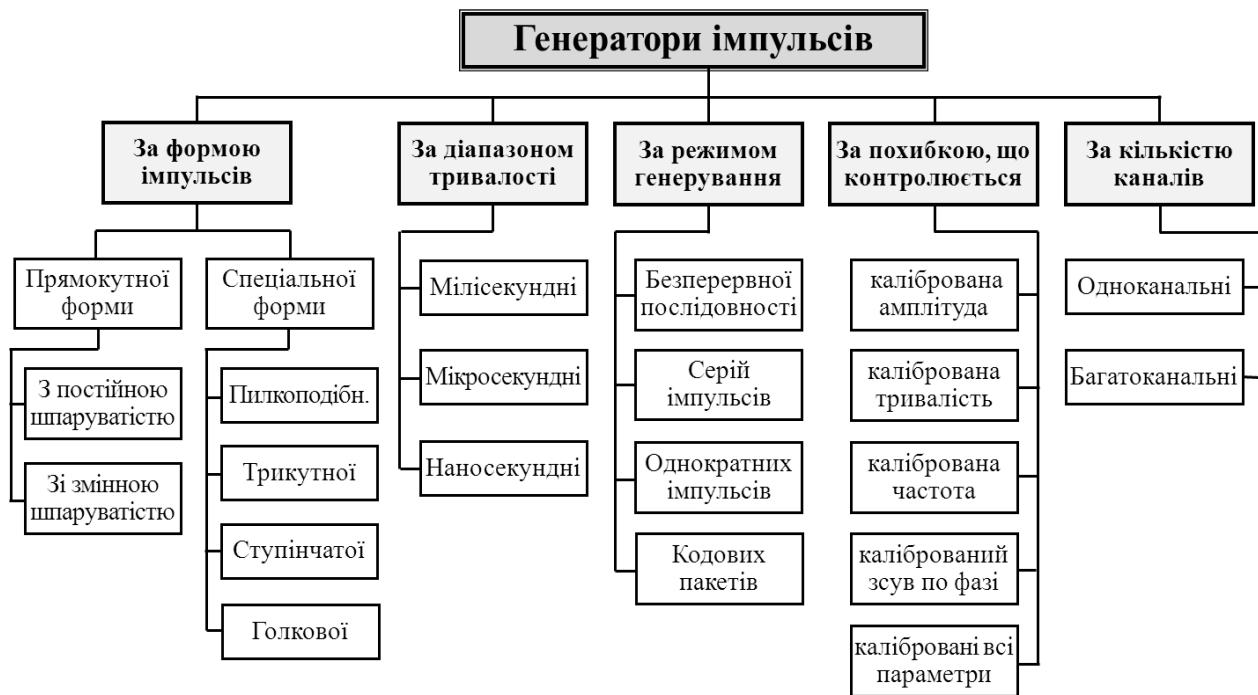


Рис. 2.2.9. Класифікація генераторів імпульсів

Час-амплітудні параметри, якими регламентується реальний прямокутний імпульс, показані на рис. 2.2.10, де  $A$  – амплітуда;  $b_1, b_2$



– викиди відповідно на вершині і зрізі;  $b_3$  – нерівномірність вершини;  $\tau_i$ ,  $\tau_\Phi$ ,  $\tau_3$  – тривалість відповідно імпульсу, фронту і зрізу.

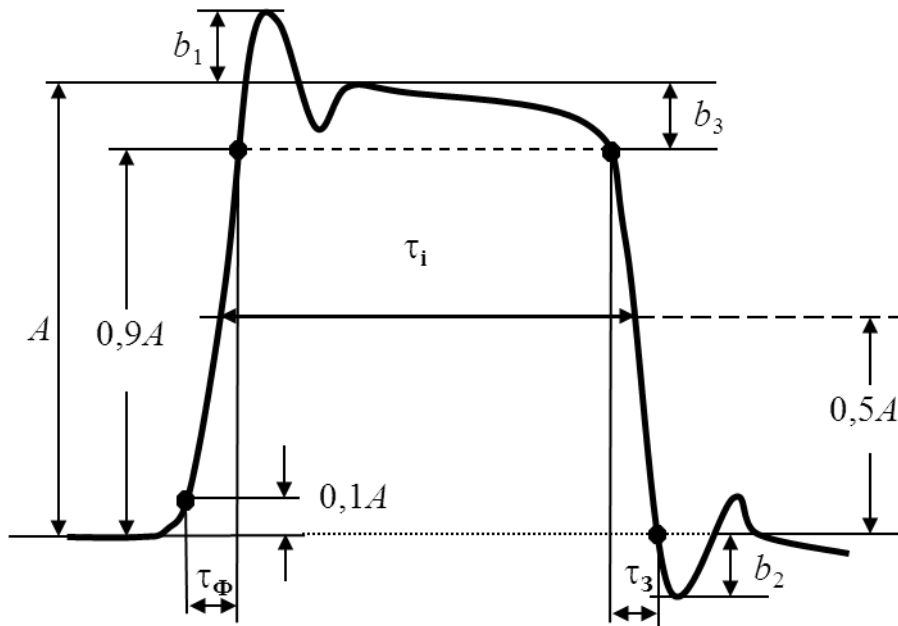


Рис. 2.2.10. Параметри реального імпульсу

Для вимірювання частоти сигналу використовуються електронні частотоміри аналогового і цифрового типу. За принципом побудови розрізняють аналогові та цифрові (електронно-рахункові) **частотоміра** частотоміри. В аналогових частотомірах перетворювач частота/рівень величини будується за різним схемним рішенням з використанням часозадаючих  $RC$  кіл. Схема вимірювача частоти періодичного сигналу довільної форми з використанням  $RC$ -кіл, показана на рис. 2.2.11.

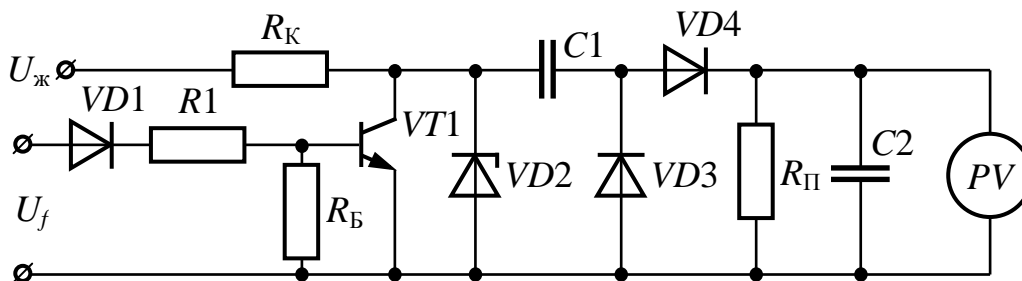


Рис 2.2.11. Аналоговий вимірювач частоти з пасивним  $RC$  перетворювачем

В таких частотомірах сигнал, який змінюється за частотою, перетворюється до рівня постійної напруги. Амплітуда і шпаруватість імпульсів на вході перетворювача, в такому разі, мають бути незмінними. Схема частотоміра складається з формувача прямокутних імпульсів (полярності –  $VD1$ , фронтів –  $VT1$ , амплітуди  $VD2$ ), перетворювача частота/напруга ( $C1$  – ємність, яка диференціює,  $C2$  – ємність, яка інтегрує) та стрілочного (аналогового) індикатора (вольтметра)  $PV$ , проградуированого в одиницях частоти. Недоліком частотомірів такого типу є нелінійність функції перетворення, викликана експонентним характером перезаряду ємності та значні пульсації вихідної напруги при низьких частотах. Знаходять застосування в пристроях граничної реєстрації частоти.

Частотоміри сигналів довільної форми, побудовані на базі очікуючого мультивібратора (рис. 2.2.12), мають порівняно лінійну передаточну функцію у діапазоні робочих частот  $f = 5 \dots 200$  Гц.

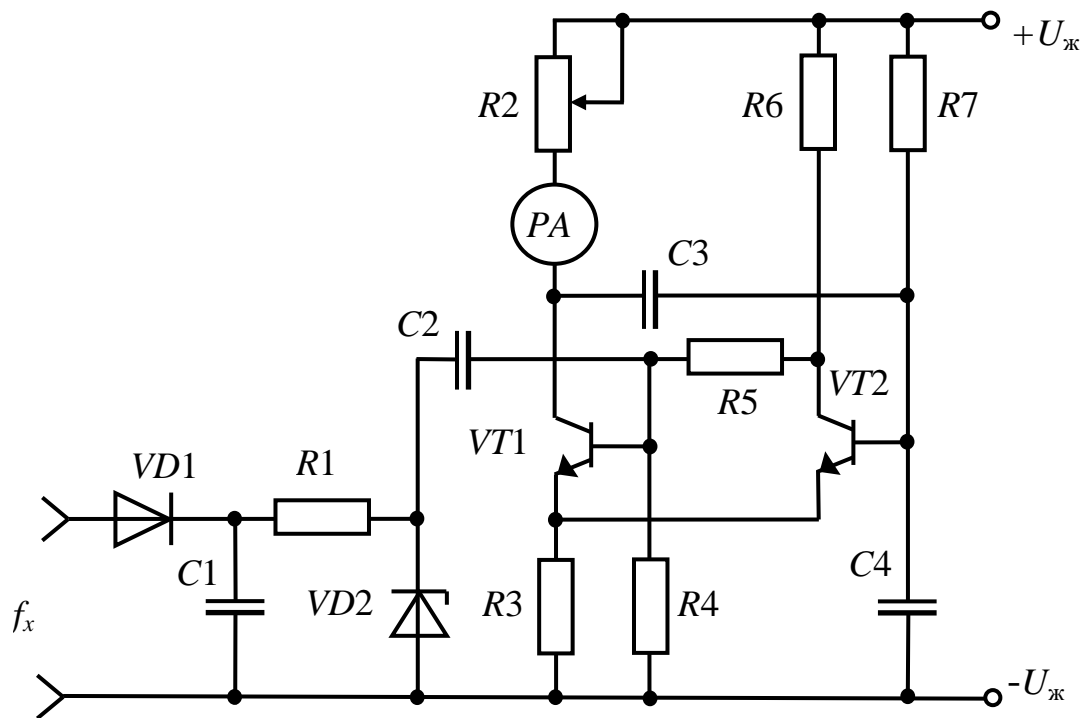


Рис 2.2.12. Аналоговий вимірювач частоти, побудований за схемою одновібратора

Схема частотоміра складається з формувача синхронізуючого імпульсу ( $VD1$  – випрямляч,  $C1$  – фільтр верхніх частот,  $VD2$  – стабілізатор амплітуди,  $C2$  – ємність, яка скорочує тривалість сигналу),

одновібратора, побудованого на транзисторах  $VT1$ ,  $VT2$  з часозадаючою ємністю  $C3$  та електромеханічного амперметра  $РА$ .

Сигнал, що вимірюється, запускає очікуючий мультивібратор, який формує імпульс фіксованої тривалості. При зміні частоти сигналу (синхронізуючих імпульсів) змінюється і частота вихідного сигналу **одновібратора** при постійній тривалості вихідних імпульсів. Отже, зміна частоти вхідного сигналу приводить до зміни частоти і шпаруватості вихідного сигналу, а відповідно і до зміни середнього за період струму в колі навантаження одновібратора. Частотоміри такого типу характеризуються порівняно невисокою точністю вимірювань і знайшли застосування в штатних тахометрах автомобіля.

Цифрові частотоміри складаються з: формувача вимірюваного сигналу; бази часу, що генерує часовий інтервал вимірювання; рахункового пристрою, який підраховує імпульси за визначений період часу (рис. 2.2.13).

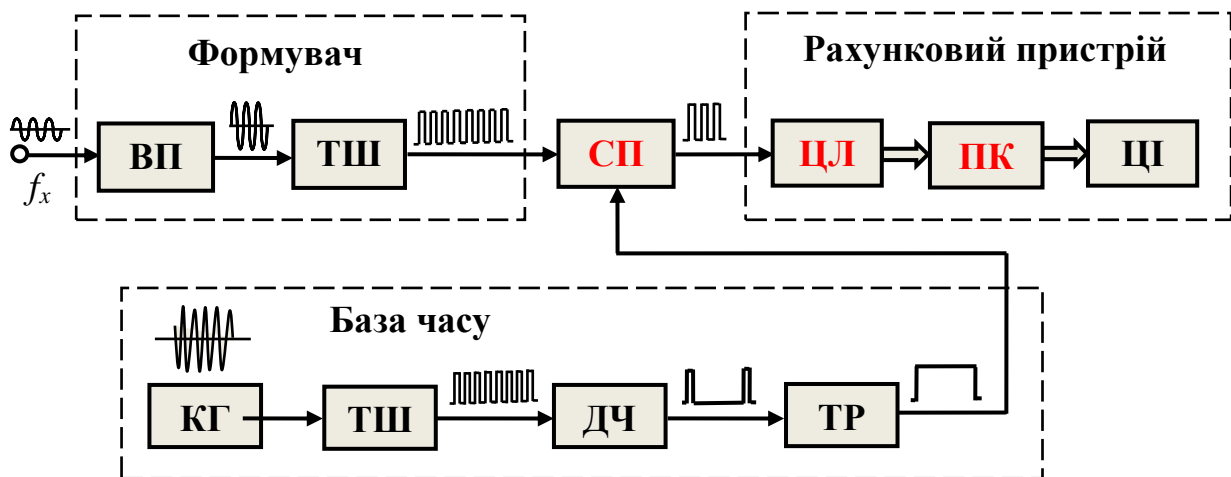


Рис. 2.2.13. **Схема** функціональна електронно-рахункового частотоміра

На рис. 2.2.13 позначено: ВП – вхідний підсилювач; ТШ – тригер Шмітта; СП – схема порівняння; **СД** – **схема дозволу**; ЦЛ – цифровий лічильник; ПК – перетворювач коду індикатора; ЦІ – цифровий індикатор; КГ – кварцовий генератор; ДЧ – дільник частоти; ТР – тригер рахунковий.

Частоту обертання роторних частин агрегатів можна вимірювати за допомогою стробоскопічного пристрою. При цьому, спалах стробоскопу, який освітлює обертаючу частину об'єкту (колінчастий вал ДВЗ), формується вимірювальним генератором з частотою,

яка контролюється. Якщо частоти спалахів стробоскопа і обертання роторної частини співпадуть, буде уявлятися нерухомість роторної частини.

### 2.2.3 Осцилоскопичні вимірювання

Конкуруюча назва приладу осцилоскоп або осцилограф пояснюється подвійною формою реєстрації сигналу (граф – рисувати, скоп – спостерігати). За способом формування зображення розрізняють електромеханічні, електронно-променеві та цифрові (моніторні) осцилографи (осцилоскопи).

В *електромеханічних (шлейфових) осцилографах*, осцилограма (графік часової функції) отримується шляхом відхилення світлового пучка освітлювача, який розташовано на рухомій частині електромеханічного вимірювального приладу (амперметра, вольтметра), на світлочутливій поверхні носія інформації (фотоплівки), яка переміщується з заданою швидкістю (часом розгортки). До недоліків осцилографів такого типу слід віднести обмежену швидкість розгортки та точність вимірювань, недостатню надійність та підвищену інерційність.

В *електронно-променевих осцилоскопах* зображення отримується шляхом збудження люмінесцентного слою екрану електронним пучком, положення якого керується електростатичною системою відхилення. Такі осцилографи мають високу надійність та зручність користування, практично не мають інерційності та дозволяють досліджувати короточасні періодичні процеси. Поряд з цим електронно-променеві осцилоскопи не дозволяють реєструвати та документувати повільні і неперіодичні сигнали. Створення електронно-променевих осцилографів з *фіксуючим екраном* дозволило позбавитись означених недоліків, а застосування цифрових технологій – забезпечити додаткові сервісні функції сучасних *запам'ятовуючих осцилографів* (автоматичне налаштування розгортки та атенюатора, зберігання та порівняння декількох кадрів в однаковому форматі і по різних каналах, цифрування зображення візором, статистична обробка сигналу і т.і.).

Під час аналізу електричних процесів в складних системах до речно користуватися багатопроменевими або багатоканальними ос-

цилографами, які дозволяють спостерігати осцилограми в декількох точках схеми одночасно.

*Багатопроменеві осцилографи* мають декілька променевих та відхиляючих систем, що дозволяє спостерігати одночасно на спільному екрані приладу відповідну кількість електричних процесів, зображення яких незалежно параметрується за чутливістю, розгорткою та яскравістю (окремі атенюатори, системи розгортки, модулятори промінів).

*Багатоканальні осцилографи* мають одну променеву та відхиляючу системи. Щоб одночасно спостерігати зображення декількох сигналів на екрані, в осцилографах такого типу передбачено комутатор почергового підключення каналів та модулятор променю. При цьому можуть забезпечуватися різні режими зображення: почергової розгортки, переривистої розгортки, сумарного сигналу.

Дослідження періодичних сигналів за допомогою осцилографа дозволяє отримати найбільш детальну інформацію про стан електричного пристрою або системи в процесі їх діагностування.

Щодо використання у електрообладнанні автомобіля, осцилографи знайшли застосування при діагностуванні систем запалювання та електропостачання де, як вихідні діагностичні розглядаються параметри напруги, яка періодично змінюється. Осцилографи також можуть використовуватися при діагностуванні електронних блоків автомобіля циклічної дії (реле поворотів, реле очисників скла та ін.) та частотно-параметричних блоків (електронних спідометрів, реле блокування стартера, реле обмеження обертів колінчастого вала та ін.) в умовах електровідділення. В цьому випадку проводиться оцінка параметрів періодичних сигналів вмонтованих релаксаційних генераторів або сигналів, що подаються на вхід пристрою як стимули (сигнали імітаторів).

Осцилографи, адаптовані до діагностування систем запалювання, мають спеціально форматований екран і дозволяють одержувати послідовне, накладене і растрове зображення осцилограм. Такі функції можуть виконуватись багатоканальними або багато променевими осцилографами.

*Послідовне зображення (парад циліндрів)* дозволяє перевірити роботу кожного циліндра окремо, спостерігаючи за всіма циліндрами одночасно. Така розгортка сигналів системи запалювання є пе-

реважною при порівнянні амплітудних значень та рівнів напруги окремих циліндрів (рис.2.2.14).

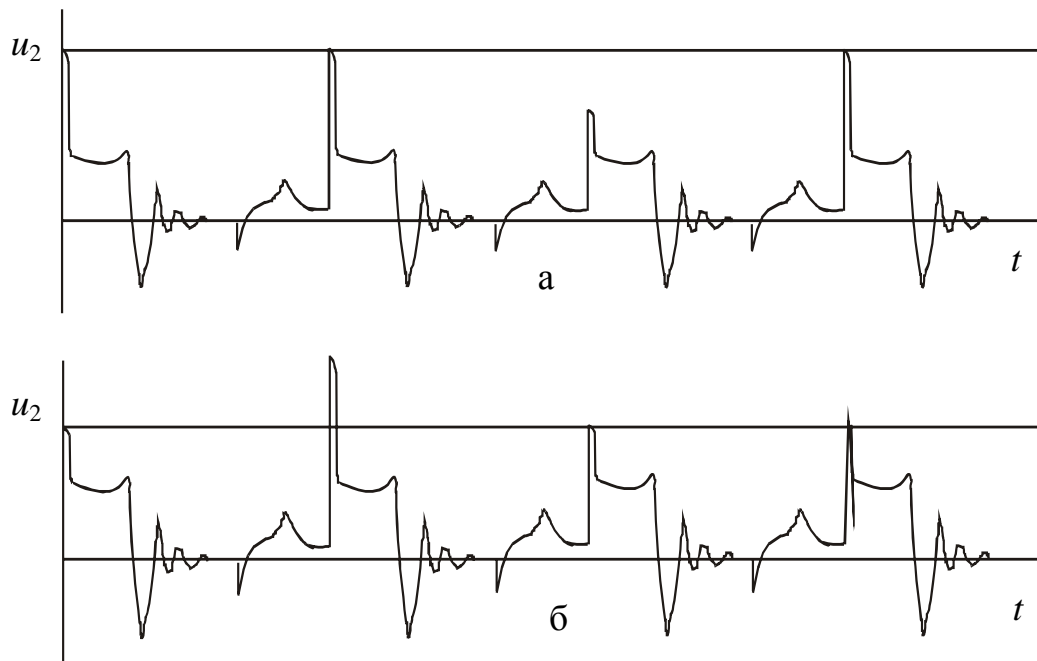


Рис. 2.2.14. Осцилограми вторинної напруги послідовного зображення:  
а - зменшений зазор третьої свічки; б - збільшений зазор другої свічки

Суміщене зображення сигналів вторинної напруги системи запалювання дозволяє оцінювати ідентичність електричних процесів у колах свічок та спостерігати за розбіжністю форми осцилограм (рис.2.2.15).

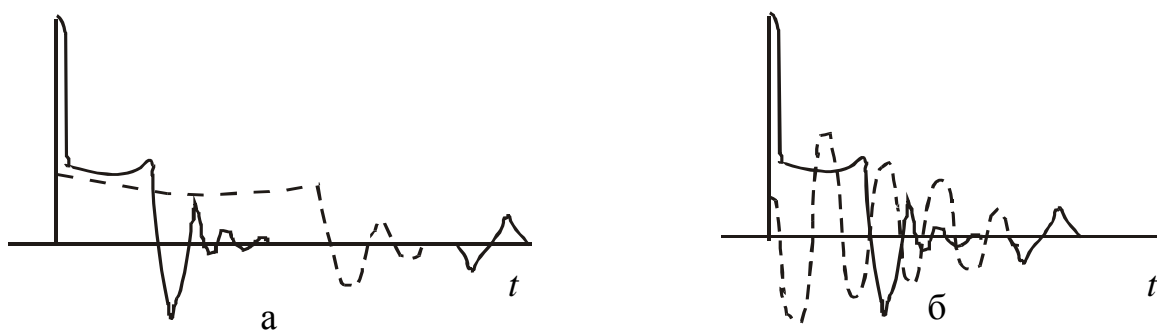


Рис. 2.2.15. Осцилограми вторинної напруги накладеного зображення:  
а – пробій високовольтного проводу свічки;  
б – обрив центрального високовольтного проводу

Ступінь викривлення осцилограми, щодо форми сигналу справної системи, дозволяє локалізувати несправність до рівня елемента (місця), а іноді і установити причину несправності без демонтажу системи.

Використання *растрового зображення* осцилограм по циліндрах найбільш ефективно під час визначення і порівняння фазових (часових) параметрів декількох ідентичних сигналів (імпульсів напруги у центральному високовольтному проводі).

Використання багатоканальних осцилографів (на відзнаку від растрового зображення в одноканальних) дозволяє одночасно спостерігати за синхронними сигналами в різних точках схеми пристрою або системи (рис.2.2.16).

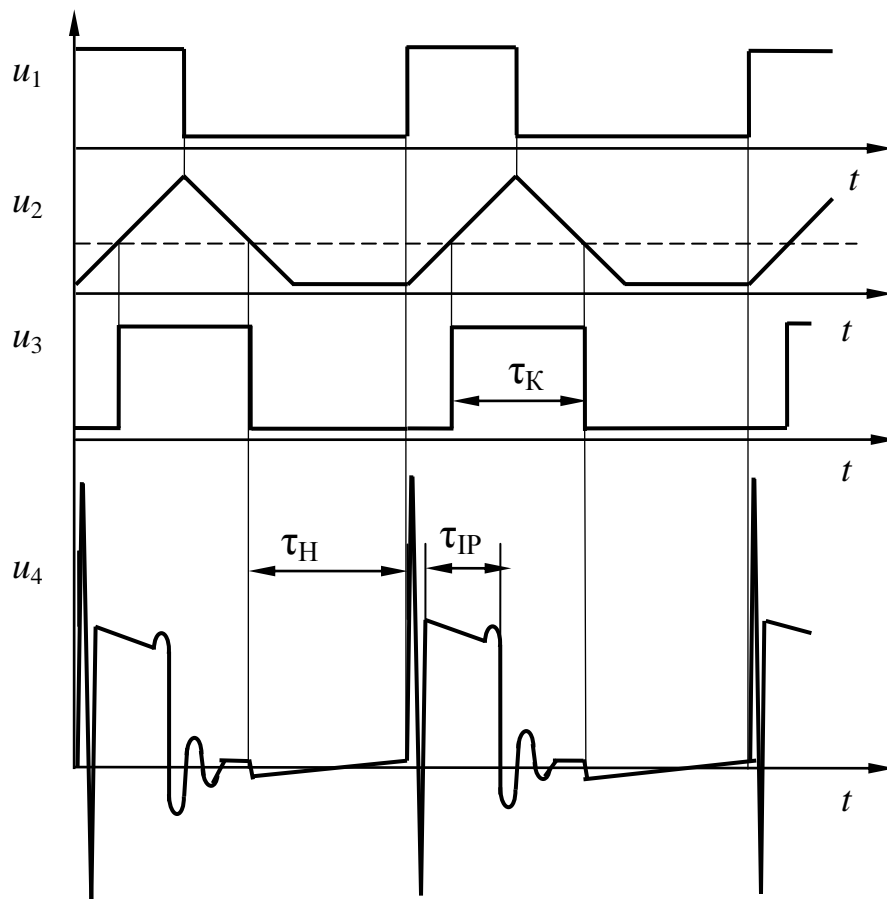


Рис. 2.2.16. Осцилограми напруг у контрольних точках схеми комутатору струму системи запалювання з нормуванням часу накопичення енергії:

$u_1$  – на виході інвертора;  $u_2$  – на виході інтегратора;  
 $u_3$  – на виході компаратора;  $u_4$  – на котушці запалювання

За наведеними осцилограмами спостерігається фазовий зв'язок між сигналами та визначаються нормовані часові параметри (тривалість імпульсу корекції  $\tau_K$ , час накопичення енергії  $\tau_H$ , тривалість іскрового розряду  $\tau_{IP}$ ).

Енергію іскрового розряду (індуктивної фази) в системах запалювання визначають через значення напруги і струму вторинного кола, шляхом інтегрування функцій цих величин протягом часу підтримки іскри  $\tau_{IP}$

$$W_L = \int_0^{\tau_{IP}} u_2(t) i_2(t) dt \approx 0,5 U_{IP} \cdot I_L \cdot \tau_{IP},$$

де  $U_{IP}$  – середнє значення напруги іскрового розряду, В;

$I_L$  – максимальне значення струму індуктивної фази іскрового розряду, А.

Значення потрібних параметрів, при цьому, вимірюють по осцилограмах, які отримують за допомогою двоканального осцилографа (рис. 2.2.17, а).

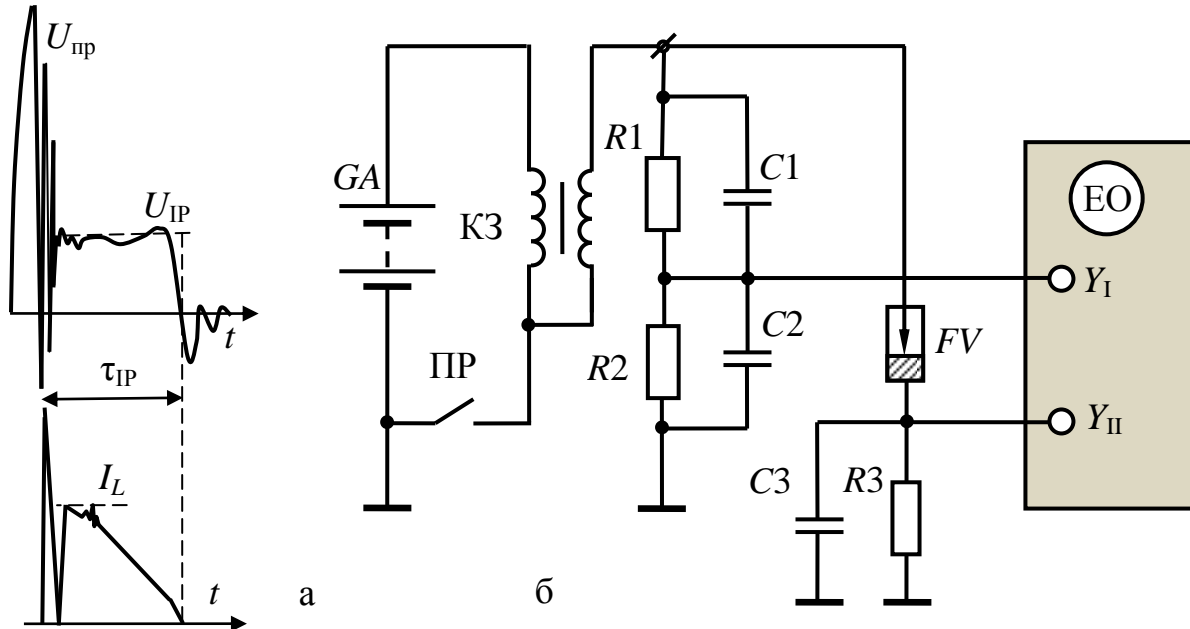
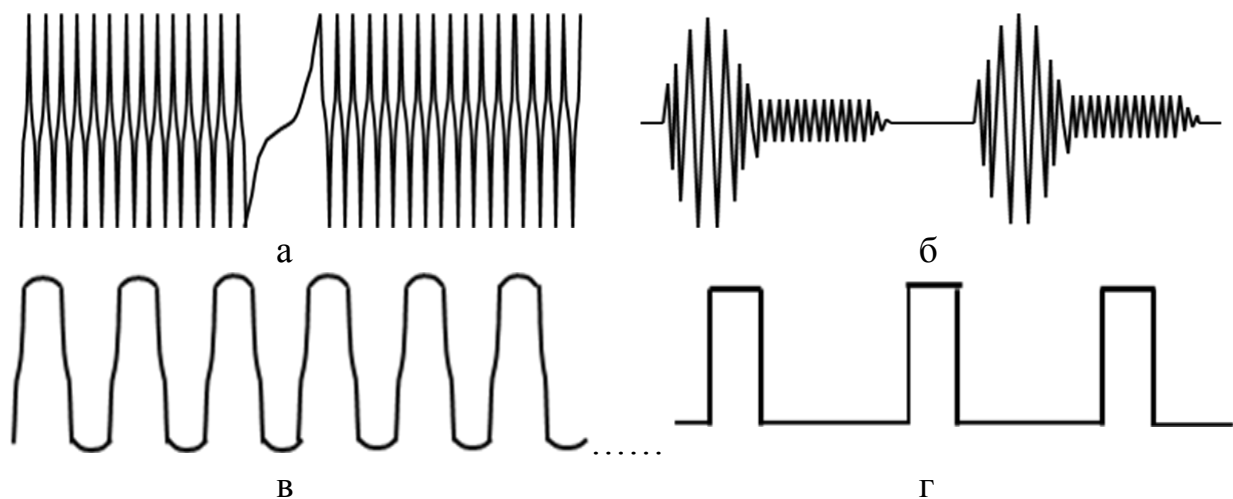


Рис. 2.2.17. Вимірювання енергії іскрового розряду: а – схема підключення осцилографа; б – осцилограми напруги вторинного кола та струму іскрового розряду



Слід зазначити, що для підключення вторинного кола системи запалювання до осцилографа застосовуються накладні безконтактні датчики високої напруги ємнісного чи індуктивного типу (безконтактний спосіб) або спеціальні ємнісні подільники напруги (рис. 2.2.17, а). На рисунку позначено: ПР – контакти переривника; КЗ – котушка запалювання; ЕО – електронно-променевий двоканальний осцилограф; СЗ – свіча запалювання;  $R1, R2, C1, C2$  – елементи високовольтного подільника напруги;  $R3, C3$  – елементи датчика струму вторинного кола. Мінімальні викривлення форми сигналу індуктивної фази високовольтного розряду будуть спостерігатися при виконанні умови  $C1R1 = C2R2$ .

Поряд з вимірюванням вихідних діагностичних параметрів при діагностуванні електричних систем керування ДВЗ виконується оцінка структурних параметрів системи. До таких параметрів належать сигнали датчиків різного призначення (рис. 2.2.18).



**Рис.2.2.18. Сигнали датчиків систем керування ДВЗ:  
а – кутового положення колінчастого валу; б - детонації;  
в – цифрового датчика Холла**

При діагностуванні системи електропостачання за допомогою осцилографа як діагностичні параметри розглядаються: рівень  $\delta U$  і період  $\tau_B$  пульсацій випрямлення; амплітуда  $\Delta U$  і період  $T_P$  пульсації регулювання; середнє значення постійної напруги  $U_{cp}$ ; напруга спрацьовування  $U_C$  і повернення  $U_{II}$  (рис.2.2.19).

Під час проведення перевірок автомобільного генератора в електровідділенні використовуються моторний або безмоторний осцилоскопичні методи діагностування.

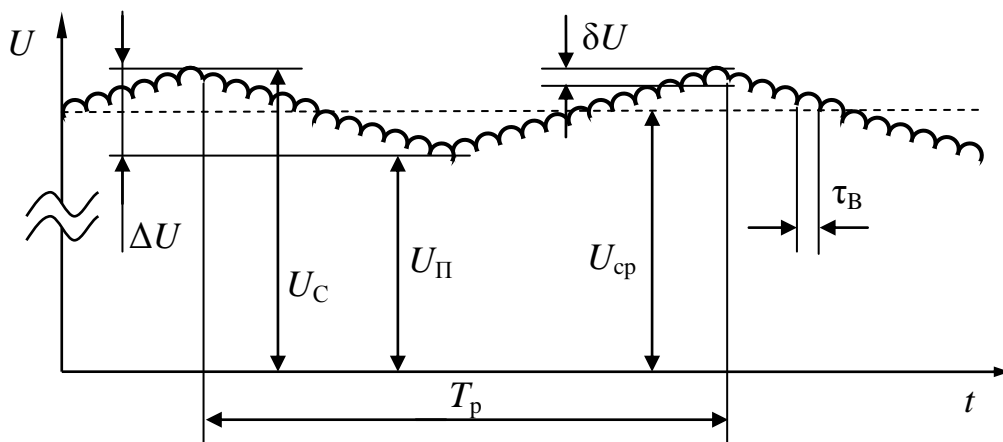


Рис. 2.2.19. Осцилограма напруги бортової мережі

Моторний метод безрозбірної діагностики передбачає обертання ротора генератора стороннім приводом (імітатором ДВЗ) і зняття осцилограм напруги, що виробляється під навантаженням. При цьому з кола виключається регулятор напруги, а живлення кола збудження генератора здійснюється безпосередньо від АКБ. Аналіз зміни форми осцилограми, відносно форми осцилограми справного генератора дозволяє локалізувати несправність в середині пристрою без його розбирання (рис.2.2.20).

При безмоторному методі, генератор досліджується у статичних режимах, як понижуючий трансформатор із змінним (у залежності від кутового положення ротора) коефіцієнтом трансформації. Як первинна обмотка трансформатора розглядається обмотка збудження генератора ОЗ, а в якості вторинних – трифазна якірна обмотка статора –  $w_A$ ,  $w_B$ ,  $w_C$ . Схема вимірювань вихідної напруги при безмоторному методі показана на рис.2.2.21.

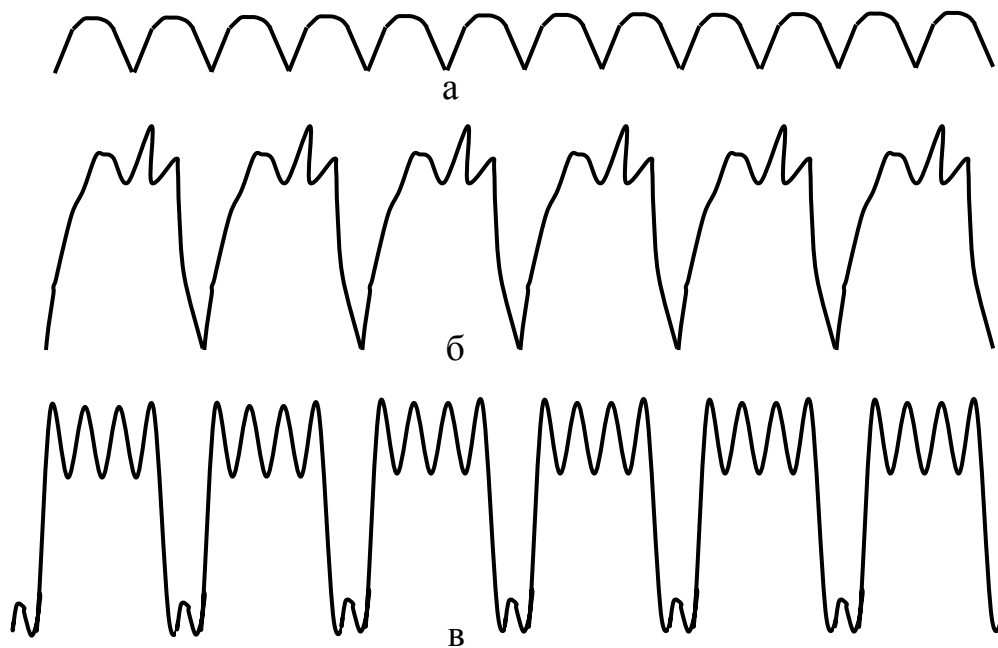


Рис. 2.2.20. Осцилограми напруги генератора: а – справногo; б – з пробитим вентилем; в – з обривом вентиля

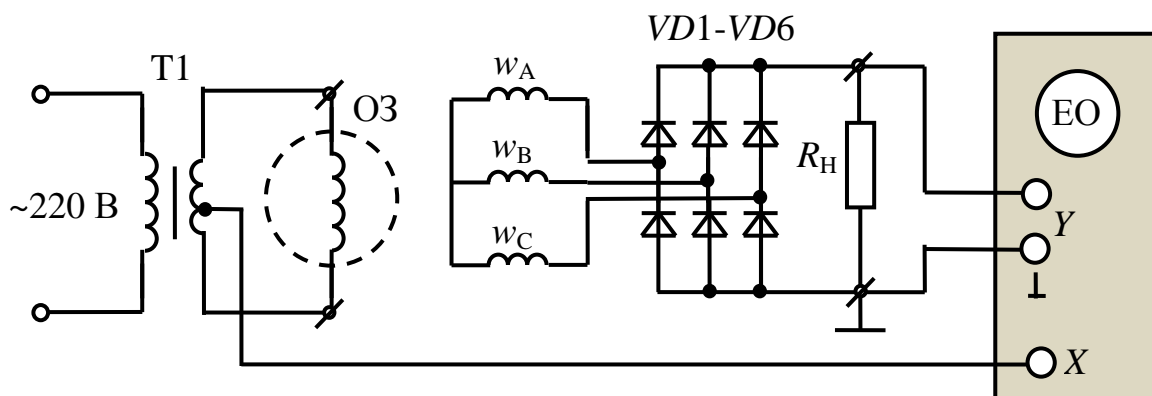


Рис. 2.2.21. Схема вимірювання напруги генератора безмоторним осцилоскопічним способом

На схемі позначено: Т1 – понижуючий трансформатор, VD1...VD6 – вентилі трифазного випрямляча генератора,  $R_H$  – опір зовнішнього навантаження, EO – електронний осцилограф.

Форма осцилограми напруги на виході генератора визначається відносним кутовим положенням його ротора і процесом комутації струму через навантаження трифазного випрямляча. Вимірювання можна робити в часовій (внутрішній) чи круговій (зовнішній) розгортці осцилографа. При аналізі осцилограм круговий спосіб роз-

горнення (використання фігур Ліссажу) є більш наочним і ефективним. Для реалізації зовнішнього розгорнення частотою напруги живлення використовується частина напруги вторинної обмотки трансформатора Т1. У табл. 2.2.1 наведено осцилограми напруг на виході справного генератора при різних кутових положеннях ротору.

Метод осцилоскопічної безмоторної діагностики генератора полягає в ідентифікації несправності (чи підтвердження справного стану) за допомогою еталонних осцилограм, отриманих для різних кутових положень ротора.

Таблиця 2.2.1

Осцилограми напруг на виході справного генератора

Кутове положення ротора	Часова розгортка	Кругова розгортка
0°		
7,5°		
15°		
22,5°		
30°		
37,5°		
45°		

Такий метод діагностування дозволяє локалізувати практично всі статичні несправності генератора за винятком короткозамкнених витків якірних обмоток. В табл. 2.2.2 наведені приклади кругових осцилограм при різних кутових положеннях ротора, для несправних станів генератора. Наведена в таблиці інформація розглядається як карта несправностей генератора. Використання такої діагностичної

документації доречно в умовах авторемонтного заводу під час розбракування генераторів перед їх відновленням.

Слід зауважити, що деякі пошкодження генератора можна виявити тільки при моторних (динамічних) методах безрозбірної перевірки або при розбиранні генератора. До таких пошкоджень належать: динамічний пробій або обрив обмоток, зависання й часткове руйнування щіток, зношення контактних кілець.

Таблиця 2.2.2

**Кругові осцилограми напруг на виході несправного генератора**

Вид несправності	Кутові положення ротора			
	0°	15°	30°	45°
Обрив діода анодної групи				
Обрив діода катодної групи				
Пробій діода анодної групи				
Пробій діода катодної групи				
Замикання статорної обмотки на корпус				
Обрив статорної обмотки				

**2.2.4. Вимірювання опорів і перевірка напівпровідникових приладів**

Перевірка електричних пристроїв і систем у виключеному стані («холодна» перевірка) проводиться шляхом вимірювання опору їх електричних кіл. В такому разі, як діагностичний параметр розглядається опір постійному струму.

Електричний опір вимірюється за допомогою універсальних вимірювальних приладів різних типів (вимірювального моста, ом-

метра, мегомметра). Кожний з перелічених приладів характеризується діапазоном вимірювань та точністю показань.

Вимірювання опору  $R_x$  мостовим способом (використання мостів Вінстона) полягає у врівноважуванні потенціалів вимірювальної діагоналі (метод биттів) каліброваним резистором (рис.2.2.22, а).

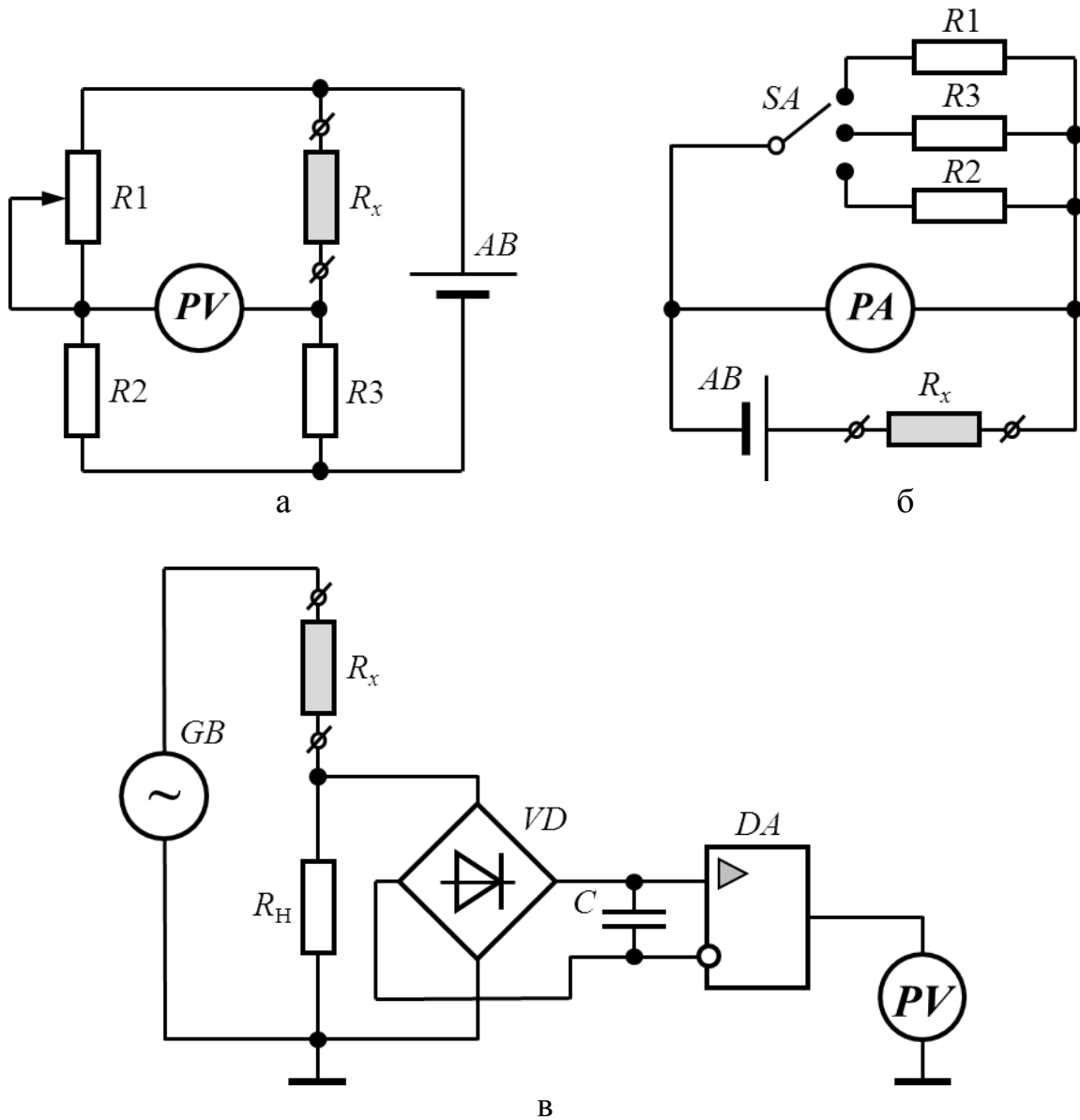


Рис.2.2.22. Вимірювачі опору: а - вимірювальний міст; б - омметр; в - мегомметр

Змінний резистор врівноваження  $R_1$  постачений вимірювальним ліббом з градуванням опору. Якщо міст врівноважено (напруга вольтметра дорівнює нулю) виконується умова  $R_x = R_1$  (пока-

зання лімба відповідають значенню опору  $R_x$ ). Точність і діапазон вимірювань моста визначається класом точності вольтметра (або амперметра) та співвідношенням значень вимірюваного опору  $R_x$  до опору плечей моста і вимірювальної голівки  $PV$ .

В омметрах (рис.2.2.22, б) використовується метод амперметра-вольтметра. Клас точності таких приладів визначається точністю показань вимірювальної голівки  $PA$ , а діапазон вимірюваних опорів і точність багатограничних приладів – складом шунтуючих резисторів  $R1 - R3$  та їх класом точності.

Для вимірювання значних опорів у мегомметрах передбачено джерело імпульсної високої напруги  $GB$  ( $U_{GB} = 500 \dots 1000$  В), щоб одержати струми витоку у високоомних і діелектричних елементах (рис.2.2.22, в). Падіння напруги на вимірювальному резисторі  $R_H$ , спричинене струмом витоку, випрямляється і підсилюється диференціальним підсилювачем  $DA$ , а потім вимірюється за допомогою вольтметра постійного струму  $PV$ . Клас точності мегомметра визначається характеристиками його основних елементів, а діапазон вимірювань – рівнем напруги джерела.

Пристрої електрообладнання автомобіля можна згрупувати за рівнем вимірюваного опору їх кіл. При цьому задовільну точність вимірювань будуть забезпечувати цілком визначені типи вимірювачів опору (табл. 2.3).

Перевірку справності напівпровідникових приладів можна виконувати методом вимірювання опорів їх  $p-n$  переходів в прямому та зворотному напрямках. Вимірювання проводять за допомогою омметрів з внутрішнім джерелом напруги не більш за  $U_{AB} \leq 1,5$  В. Такі обмеження дозволяють запобігти тепловому пробою приладу під час його іспиту. Опір між колектором та емітером транзистора в прямому і зворотному напрямках має складати не менше ніж  $R_{KE} > 10$  кОм для справного транзистора. У деяких типах транзисторів спостерігається невелика різниця:  $R_{KE} \leq R_{EK}$  для транзисторів  $n-p-n$  типу,  $R_{KE} \geq R_{EK}$  для транзисторів  $p-n-p$  типу.

Опір між базою та емітером, а також між базою та колектором у прямому напрямку має дорівнювати  $R_{np} = 50 \dots 100$  Ом для транзисторів малої потужності та  $R_{np} = 10 \dots 50$  Ом для транзисторів середньої та великої потужності. У зворотному напрямку відповідно  $R_{зв} = 10 \dots 100$  кОм та  $R_{зв} = 1 \dots 10$  кОм.

## Прилади вимірювання опорів електрообладнання автомобіля

Діапазон опорів	Вимірювальний прилад	Об'єкт вимірювань
0,01...0,1Ом	Вимірювальний міст	Стартерні мережі, контактні опори
0,1...1,0Ом	Вимірювальний міст	Генераторні мережі, додаткові опори
1,0...10Ом	Вимірювальний міст, Омметр	Обмотки реле, генераторів, виконавчих двигунів, первинні обмотки котушок запалювання
10...1000Ом	Омметр, Комбінований прилад	Обмотки форсунок, індукційних датчиків, крокових двигунів, потенціометричних датчиків, напівпровідникових приладів електронних пристроїв
10...100кОм	Комбінований прилад	Датчики температури, детонації, демпферувальні резистори, високовольтні проводи, вторинні обмотки котушок запалювання
0,1...10мОм	Комбінований прилад Мегомметр	Резистори електронних блоків, вимірювальні кола
10...500мОм	Мегомметр	Опір ізоляції високовольтних і низьковольтних кіл і апаратів (котушки запалювання, свічі запалювання, високовольтні проводи, розподільники )

Якщо опір, що вимірюється, значно перевищує  $R_{пр}$ , то має місце обрив електродів, а якщо значно менший за  $R_{зв}$  – пробій  $n-p$  переходу в транзисторі. Якщо при вимірюванні опору колектор-база переходу у зворотному напрямку його опір зменшується за часом, то такі транзистори теж пошкоджені.

Тиристори перевіряють на відсутність пробою або обривів від випалення  $p-n$  переходів. У справного тиристора опір між анодом і



катодом в прямому та зворотному напрямках має складати не менше 5 МОм. Опір між керуючим електродом та катодом (анодом) в обох напрямках має становити 50...100 Ом. Якщо опір у прямому напрямку перевищує 500 Ом, тиристор пошкоджений.

### 2.2.5. Електричні вимірювання неелектричних величин

Електричні системи автомобіля виконують певну функцію перетворення електричної енергії в інші види енергії. Щоб перевірити такі системи за вихідними характеристиками, треба використовувати або вимірювальні засоби безпосередньої оцінки (динамометр, манометр, тахометр, термометр) або засоби електричних вимірювань неелектричних величин з застосуванням первинних перетворювачів (датчиків).

В системі освітлення, як вихідні діагностичні параметри, розглядаються сила світла та напрямок світлових пучків фар головного освітлення. Для вимірювання цих параметрів застосовуються активні (фотоелементи, фототранзистори) та пасивні (фоторезистори, фотодіоди) фотоелектричні перетворювачі. Вимірювальні схеми фотоелектричних пристроїв показані на рис. 2.2.23.

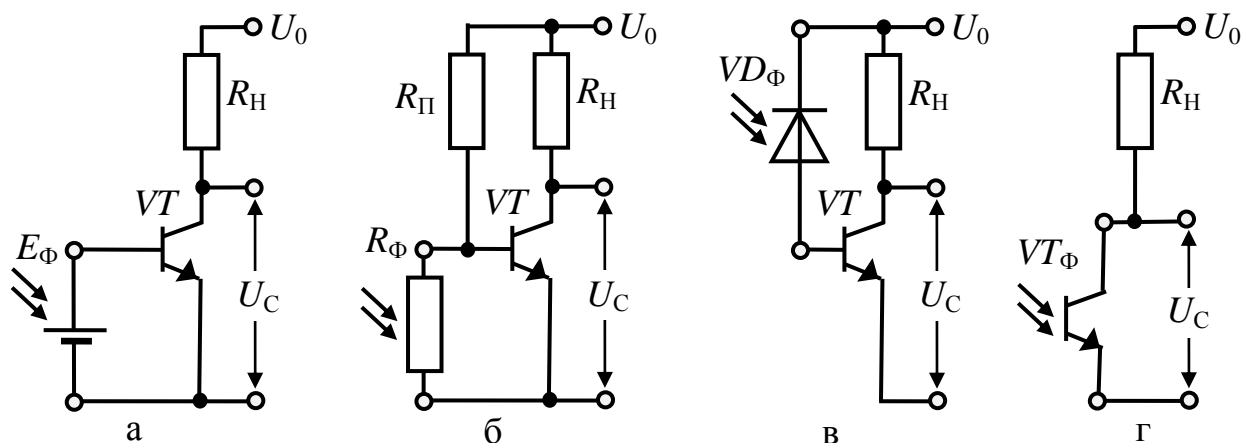


Рис. 2.2.23. Схеми підключення фотоелектричних перетворювачів у вимірювальне коло: а – фотоелемента; б – фоторезистора; в – фотодіода; г – фототранзистора

Прилад для вимірювання фотоелектричних параметрів освітлювача 1 включає оптичну камеру з лінзою, що фокусує 2, і вимі-

рювальним екраном 3 та електронний пристрій (підсилювач) 4 з фотоелементом 5 та приладом реєстрації *PV* (рис. 2.2.24).

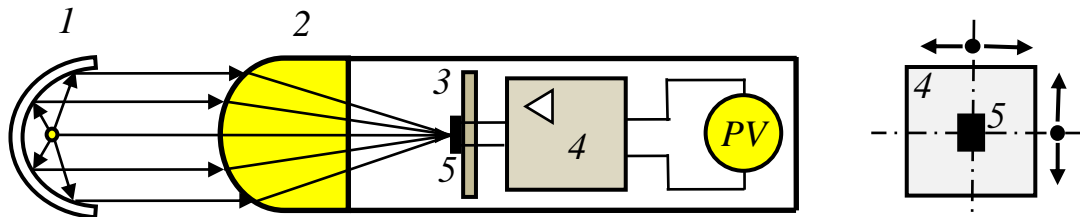


Рис. 2.2.24. Улаштування оптико-механічного приладу для вимірювання сили світла та напрямку світлового пучка

Світловий пучок, сфокусований лінзою 2, впливає на фотоелемент 5, сигнал з якого, пропорційний силі світла опромінювання, підсилюється та реєструється. Вразі орієнтованого освітлення оптичної системи, чутливий елемент опиняється у світловому фокусі і його сигнал має максимальні значення. Відхилення світлового фокусу від центральної осі, в наслідок зміни напрямку освітлення, викликає послаблення сигналу фотодатчика. Положення екрану з чутливим елементом в площині, регулюється відносно геометричного центру (осі) оптичної системи механічними регуляторами з вимірювальними лімбами. Отже, вимірювання напрямку світлового пучка полягає в настроюванні положення екрану при якому спостерігається максимальний сигнал фотоелементу. Кут відхилення пучка при цьому визначається за показаннями вимірювальних лімбів.

На базі фото-вимірювачів (див. рис. 2.2.24) також будуються енкриментні датчики (дискретної дії) частоти обертання та цифрові датчики кутового положення (енкодери) з вимірювальними дисками, які переривають світловий потік від випромінювача світла.

Електромеханічні перетворювачі електричних систем (електродвигуни, тягові реле, електромагнітні приводи різного призначення) перевіряються за вихідними параметрами та механічними характеристиками (робочий хід, тягова сила, частота обертання, крутний момент).

В системі електростартерного пуску електрична енергія АКБ перетворюється в механічну енергію обертання стартера. Як вихідні діагностичні параметри стартера розглядаються крутний момент та частота обертання його валу. Керування пневматичними та гідрав-

лічними системами, в багатьох випадках, здійснюється за допомогою електроклапанів. Вихідними параметрами таких систем є тиск у магістралі та сила дії робочого органу. При стендових випробуваннях автомобіля також виникає необхідність реєструвати механічну потужність на колесах, яка залежить від багатьох факторів, пов'язаних з потужністю ДВЗ, однією з систем якого є електрична система запалювання. Таким чином, вихідні силові параметри систем та агрегатів до складу яких входять електричні пристрої, непрямо характеризують технічний стан останніх.

Для вимірювання силових параметрів електричним способом, зазвичай, використовуються методи тензометрії. Вимірювальна система (датчик сили), в такому разі, являє пружний елемент з закріпленими на ньому тензорезисторами (рис. 2.2.25).

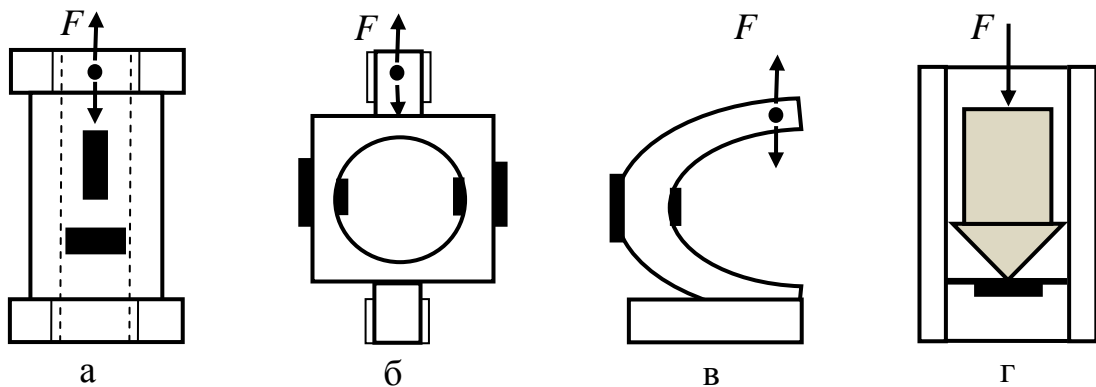


Рис. 2.2.25. Конструкції датчиків сили: а – циліндричний; б – кільцевий; в – консольний; г – мембранний

Тензорезистори (пасивні чутливі елементи) реєструють деформацію робочої зони поверхні пружного елемента, яка утворюється під дією прикладеної сили  $F$ . У якості пружного елемента в технічній системі можуть розглядатися окремі її конструктивні елементи (робочі органи), які перебувають під силовим навантаженням, яке підлягає вимірюванню. Кількість тензорезисторів та їх розташування на пружному елементі визначається вимогами до чутливості вимірювальної схеми, напрямом та характером дії сили. Підключення тензорезисторів, зазвичай, виконують за схемою вимірювального моста (рис. 2.2.26).

На схемах (рис. 2.2.26) позначено:  $R1, R4$  – тензорезистори, які зменшують довжину (зменшують опір);  $R2, R3$  – тензорезистори, які

зменшують ширину (підвищують опір);  $R_{K1}$ ,  $R_{K2}$  – компенсаційні резистори, що балансують схему моста (постійний опір).

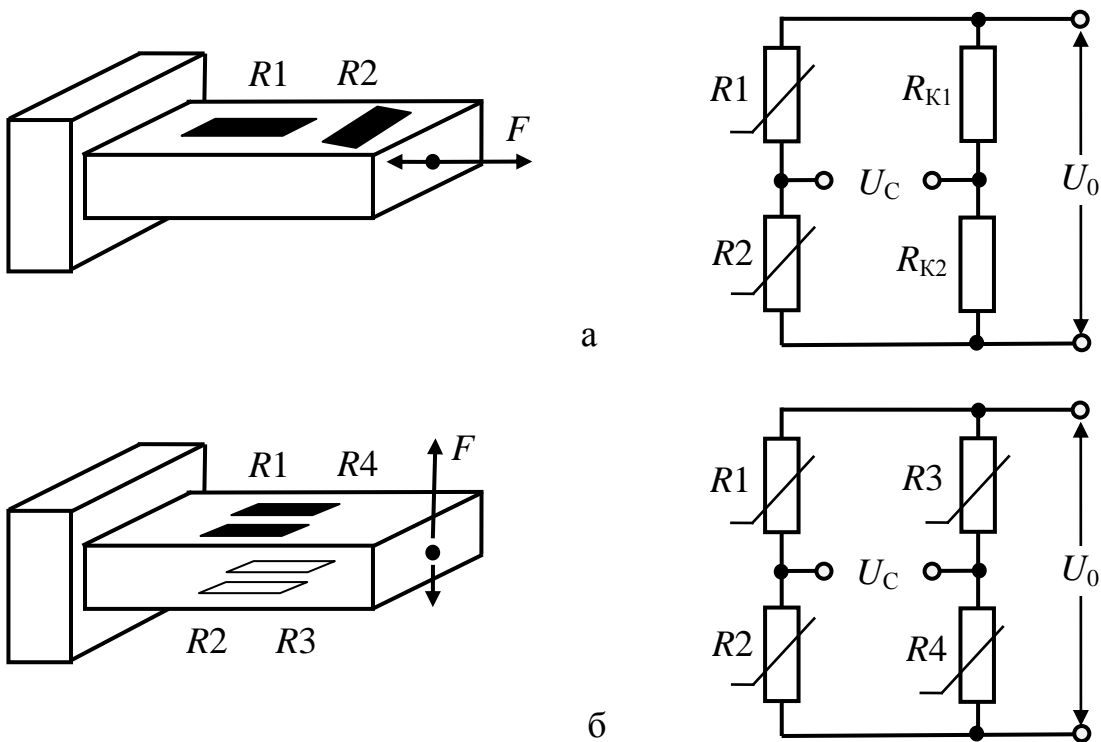


Рис. 2.2.26. Вимірювання сили тензометричним способом:  
 а – за рахунок деформації стискування та розтягнення;  
 б – за рахунок утворення моменту, що вигинає

Під час деформації пружного елемента відбувається розбалансування моста та у його вимірювальній діагоналі виникає різниця потенціалів  $U_C$  пропорційна прикладеній силі.

Тензометричні датчики тиску газів та рідин мають однакову конструкцію в якій порожнина датчика відокремлена від атмосферного тиску пружним елементом – мембраною на якій встановлюються чутливі елементи (тензорезистори). Поряд з тензорезистивними в датчиках тиску використовуються п'єзорезистивні та п'єзоелектричні чутливі елементи.

В датчиках крутного моменту на вимірювальний вал встановлюють чотири тензорезистора орієнтовані певним чином та підключають в схему моста. Напруги живлення та сигналу розбалансу підводять (знімають) або через контактні кільця КК, або безконтактним способом (рис. 2.2.27).

В другому випадку (рис. 2.2.27, б) змінна напруга живлення  $U$  трансформується з стаціонарної обмотки  $w_1$  через магнітну систему з робочим зазором в обмотку розташовану на валу  $w_2$ .

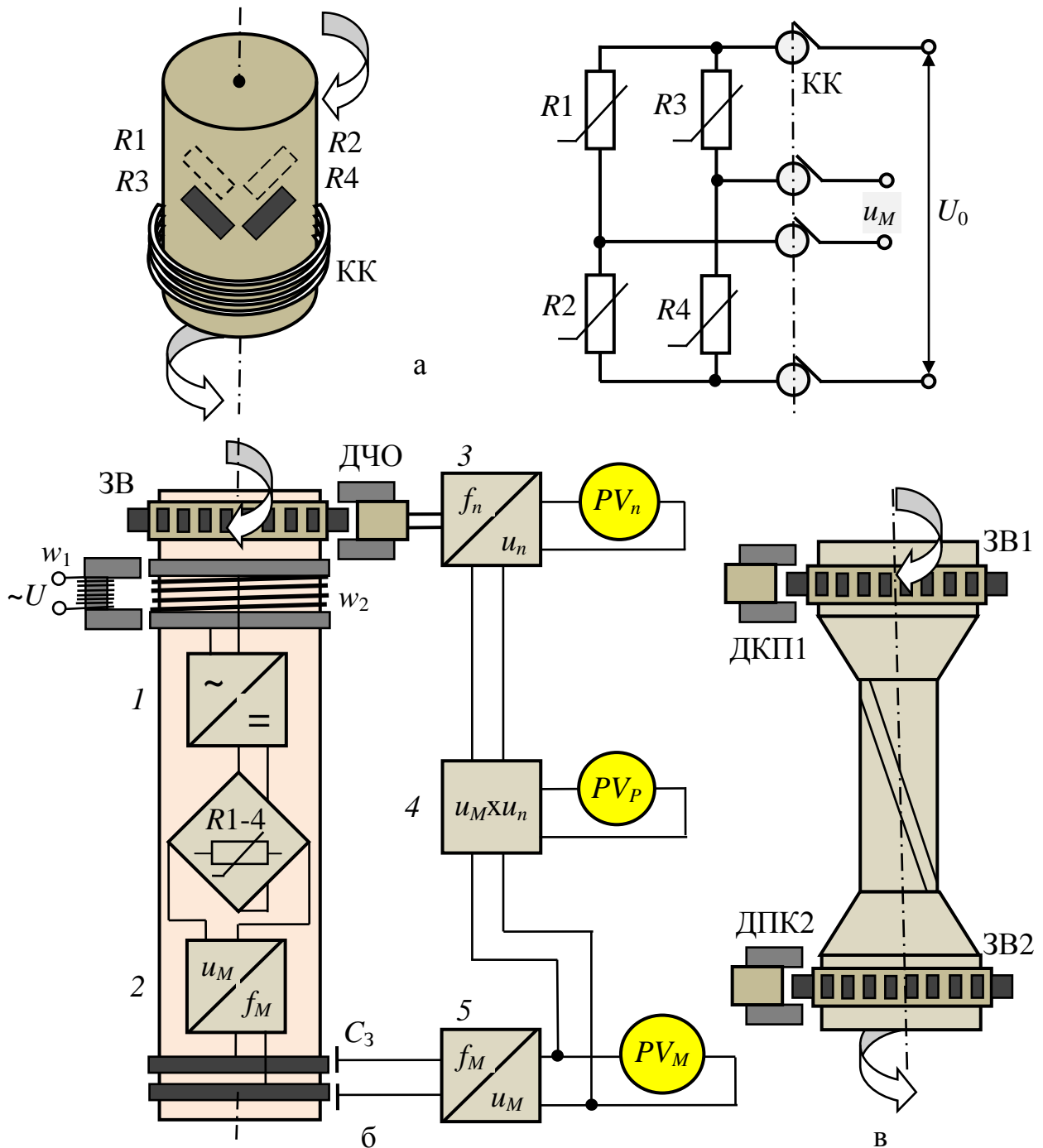


Рис. 2.2.27. Способи вимірювання крутного моменту: а – датчиком з контактними кільцями; б – безконтактним датчиком з частотною модуляцією сигналу; в – за допомогою торсіону

Далі після випрямлення та стабілізації (перетворювач 1) напруга постійного струму  $U_0$  живить тензометричний міст  $R_1-R_4$ . Постійна напруга розбалансу  $u_M$  з вимірювальної діагоналі моста перетворюється до змінної напруги відповідної частоти  $f_M$  (перетворювач 2) і надходить на кільцеві обкладки, які разом з стаціонарними обкладками забезпечують ємнісний зв'язок  $C_3$  з стаціонарною частиною системи. На вимірювальному валу також встановлюється зубчастий венець ЗВ, який активізує енкриментний (імпульсний) датчик частоти обертання ДЧО (індукційний, фотоелектричний або магнітоелектричний). Таким чином, з обертової частини вимірювальної системи, безконтактним способом знімаються два інформаційних сигнали, частоти яких пропорційні частоті обертання та крутному моменту. В стаціонарній частині системи ці сигнали нормалізуються та перетворюються до відповідних рівнів напруг  $u_n$ ,  $u_M$  (перетворювачі 3, 5), які реєструються вольтметрами  $PV_n$ ,  $PV_M$ . Якщо отримані сигнали перемножити у спільному форматі, то на виході схеми перемноження 4 отримаємо рівень напруги  $u_P$  пропорційний механічній потужності, яка передається через вал.

Систему вимірювання моменту також можна реалізувати на базі вимірювального торсіону, який встановлюється в кінематичний розрив між робочими валами через які передається момент (рис. 2.2.27, в). В такій системі використовуються два енкриментних датчика кутового положення хвостовиків торсіону ДКП, які активізуються зубцями відповідних вимірювальних дисків ЗВ. Отримані в такому разі імпульсні сигнали датчиків будуть мати однакову частоту та співпадати по фазі, вразі відсутності навантаження на валу. Зростання механічного навантаження торсіону викличе зсув фази між сигналами датчиків, пропорційний крутному моменту, що передається. Реєстрація фазового зсуву проводиться осцилоскопічним способом. Вибір типу системи вимірювання крутного моменту визначається умовами проведення вимірювань, максимальними значеннями крутного моменту, що передається, та частоти обертання.

Контроль стану обмоток електромагнітних пристроїв автомобіля (стартера, генератора, реле) полягає у перевірці відсутності їх обриву, замикання на корпус, замикання між обмотками та окремими витками обмотки. Для проведення останньої перевірки використовуються діагностичні прилади індукційного принципу дії. Вимі-

рювальна система такого приладу складається з магнітної системи  $1$ , збуджуючої котушки  $w_1$ , вимірювальної котушки  $w_2$ , випрямляча  $4$ , вимірювального приладу  $PV$  (рис. 2.2.28).

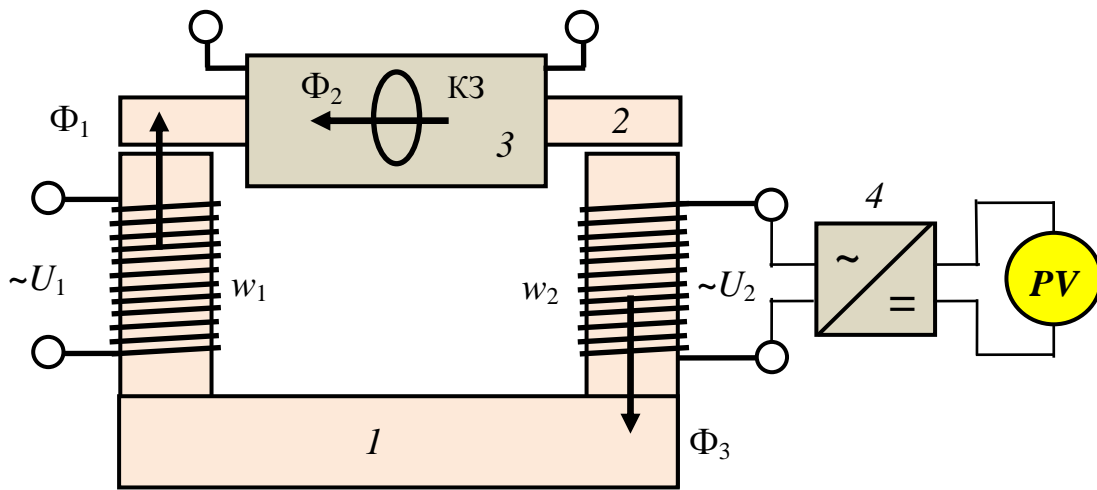


Рис. 2.2.28. Улаштування індукційного приладу для реєстрації замкнутих витків котушок

Перед проведенням перевірки, магнітна система приладу доповнюється додатковим магнітопроводом  $2$  на якому встановлена котушка, яка перевіряється  $3$ . Синтезована електромагнітна система функціонує наступним чином.

Вразі відсутності замкнутих витків в котушці  $3$ , прилад перетворює напругу, як звичайний трансформатор. При цьому, потік  $\Phi_1$  дорівнює потоку  $\Phi_3$ , а діюче значення вихідної напруги визначається співвідношенням витків (коефіцієнтом трансформації)  $U_2 = U_1 w_2 / w_1$ .

Якщо в котушці  $3$ , яка перевіряється, є замкнутий виток  $K3$  (або секція), в ньому під дією  $\Phi_1$  індукується струм, який у свою чергу утворює магнітний потік  $\Phi_2$ . Поперечна складова цього потоку послабляє результуючий потік в магнітній системі  $\Phi_3 = \Phi_1 - \Phi_2$  і напруга  $U_2$  зменшується. Послаблююча дія потоку  $\Phi_2$ , аналогічна реакції якоря синхронного генератора. Таким чином, зміна напруги  $U_2$ , яка реєструється вимірювальним приладом  $PV$ , свідчить про наявність замкнутих витків, а різниця показань приладу залежить від кількості витків (електричного опору струму  $K3$ ), які утворюють потік  $\Phi_2$ .

Комплексна оцінка технічного стану основних систем ДВЗ (запалювання, подачі палива, газорозподільного механізму) проводиться на підставі аналізу хімічного складу відпрацьованих газів. Для вимірювання концентрацій газових домішок у повітрі використовуються декілька методів аналізу: фотометрія та спектрометрія; кондуктометрія; гальванометрія; масовий аналіз; вимірювання струму іонізації, теплопровідності, температури каталітичного спалювання, інтенсивності світлових явищ, розсіювання світла в лазерному промені. Переважними з позицій мобільності засобів та оперативності проведення аналізу є методи фотометрії та каталітичного спалювання.

Каталітичний метод полягає у реєстрації підвищення температури (теплого ефекту) під час спалювання горючого компоненту. Цей метод реалізується термоелектричним способом. У якості чутливого елемента, при цьому, використовується спіраль підпалювання, матеріал якої має високий коефіцієнт температурного опору. Під час спалювання домішок газу спіраль змінює свою температуру, а отже й електричний опір. Якщо, спіраль включити до схеми вимірювального моста, то ступінь його розбалансу (напруга у вимірювальній діагоналі) буде визначатися теплотворністю відповідних компонентів газу.

Фотометричні та спектрометричні вимірювання полягають у реєстрації електричних сигналів (від фотоелектричних перетворювачів) пропорційних різниці інтенсивності світла, що виникає внаслідок поглинання випромінювання шкідливою та еталонною речовиною.

Селективне вимірювання окремих компонентів газу можливо, якщо вдається відокремити складову випромінювання в області спектру поглинання компоненту, який вимірюється, за допомогою оптичного фільтру. В інфрачервоному і ультра**червоному** діапазонах газу з молекул різного роду ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}$ ) мають характерні полоси поглинання. На відміну, в молекулах з однаковими атомами ( $\text{H}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ) не поглинають випромінювання.

У двохпроменевих фотометрах з пульсуючим освітленням порівнюються інтенсивності світла, послабленого поглинанням речовини (домішку газу) та світла через непоглинаючий газ. При цьому



використовується або селективний випромінювач (рис. 2.2.29, а), або селективний приймач (рис. 2.2.29, б).

Для селекції недисперсного світла (виділення необхідної полоси спектру) від випромінювача 1 використовуються оптичні фільтри 2 (рис. 2.2.29, а).

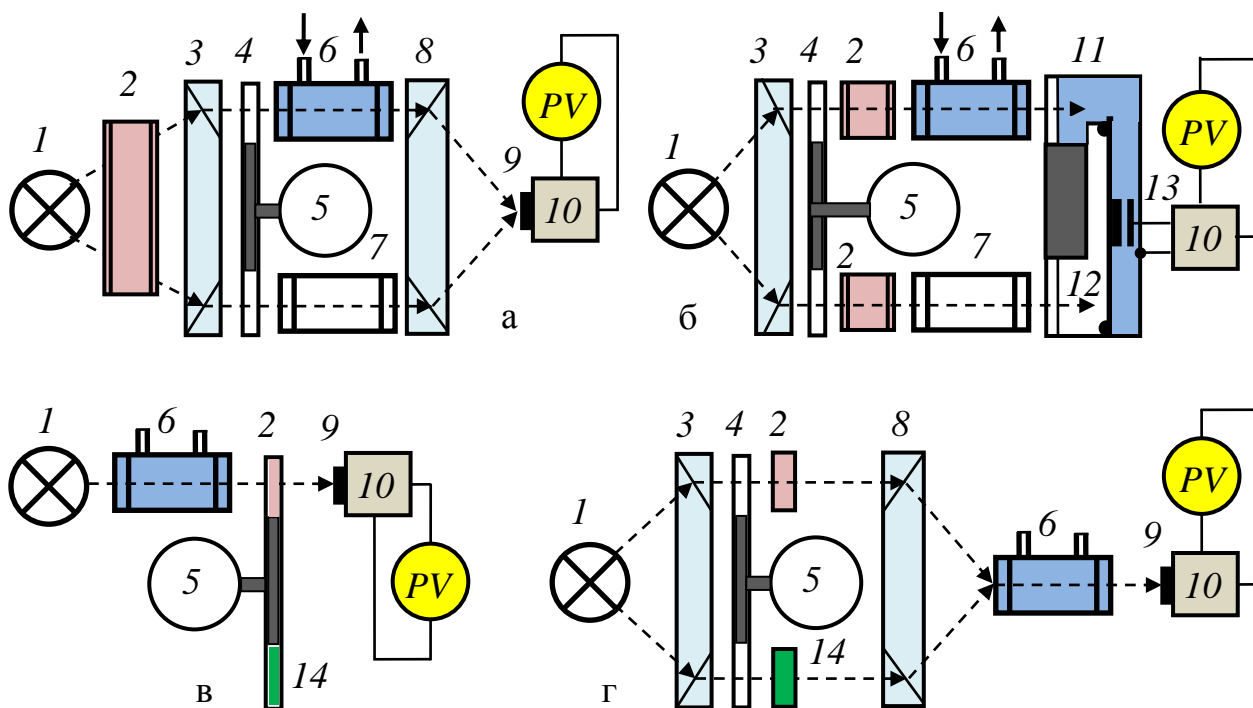


Рис. 2.2.29. Вимірювальні системи фотометрів

Світловий потік обраного (інфрачервоного) діапазону поділяється призмою 3 та обидві лінії світла перериваються модулятором (диском з оптичними отворами 4, який обертається електродвигуном 5). Одна лінія світла проходить через кювету з газом, який аналізується 6, друга – через еталонну кювету 7 з газом, який не поглинає випромінювання (наприклад  $N_2$ ). Після лінзи 8 поєднаний світловий потік сприймається фотодатчиком 9, сигнал з якого нормалізується електронним пристроєм 10 та виводиться на прилад реєстрації PV.

Селективний приймач 11 являє дві герметичні камери поділені мембраною 12 (рис. 2.2.29, б). В одній камері міститься газ, який аналізується, в другій – газ з еталонним поглиначем (наприклад CO в приладах для вимірювання концентрації CO). Внаслідок поглинання випромінювання означеними газами, підвищується їх темпе-

ратура, що викликає перепад тиску в камерах приймача та відповідну деформацію (прогинання) вимірювальної мембрани. Прогин мембрани, пропорційний перепаду тиску вимірюється датчиками малих переміщень (ємнісним 13 або індуктивним), а деформація (відносна зміна довжини поверхні) тензOMETричними або п'єзо-резистивними чутливими елементами.

Вразі застосування методу абсорбції світла в дох різних діапазонах випромінювання використовують два фільтри, які встановлюються на диск модулятора (рис. 2.2.29, в). або стаціонарно (рис. 2.2.29, г). Вимірювальний фільтр 2 прозорий в діапазоні полос поглинання газу, який аналізується, фільтр порівняння 14 навпаки не прозорий в цих діапазонах.