

5.5. Розрахунок котушок запалювання

5.5.1. Передумови до розрахунку котушки запалювання та аналіз вихідних даних

До конструкції та параметрів котушок запалювання висуваються певні вимоги з позицій питомої потужності, накопичувальної здатності, температурної стійкості, електричної міцності.

Основними параметрами, які визначають обмоткові дані й розміри магнітної системи котушки запалювання є: активний опір первинної обмотки котушки r_{w1} , загальний активний опір первинного кола системи R_1 , індуктивність первинної обмотки котушки L_1 , коефіцієнт трансформації котушки запалювання k_T .

Час накопичення енергії та відповідно і енергія іскрового розряду в системах з жорстким керуванням визначаються швидкісним режимом ДВЗ (див. рис. 4.1.8). Для систем з накопиченням енергії в індуктивному елементі вирішується компромісна задача. З одного боку підвищення індуктивності первинної обмотки котушки запалювання дозволяє отримати більшу енергію (при заданому опорі R_1), з другого – зростання постійної часу кола $\tau_1 = L_1/R_1$ обмежує струм розриву та відповідно і енергію, яка накопичується в електромагнітному полі котушки за заданий час (час замкнутого стану контактів переривника).

Виходячи з цих міркувань індуктивність L_1 обирається за двохстороннім обмеженням. Аналіз енергетичної моделі системи запалювання (4.2.20) та результатів експериментальних досліджень показують, що оптимальні значення L_1 в системах з реальними параметрами, знаходяться в межах діапазону 3...20мГн.

В класичних системах запалювання інтенсивність утворення дуги на контактах переривника залежить від величини струму розриву I_p , припустимі значення якого також визначаються величиною індуктивності L_1 . При виборі величини струму розриву I_p необхідно приймати до уваги значення ємності C_1 . За результатами експериментальних досліджень, для класичної системи запалювання встановлені компромісні співвідношення параметрів, які рекомендуються при проектуванні [2, 18]:

1. Для режиму пуску при вольфрамових контактах недоцільно вибирати I_p більше 4...5А при $L_1=6...7$ мГн і більше 3...4А при $L_1=10$ мГн (при використанні ємності $C_1=0,2...0,25$ мкФ). При збільшенні I_p вище зазначених величин, вторинна напруга U_{2m} практично не збільшується, а контакти переривника інтенсивно обгоряють.

2. При середніх частотах обертання недоцільно вибирати I_p більш за 3,3А при $L_1=6...7$ мГн й 3А при $L_1=10$ мГн.

3. З позицій забезпечення достатньої розривної електромагнітної енергії, недоцільно вибирати L_1 менш за 4...5 мГн.

4. Амплітудні значення імпульсів напруги U_{1m} на контактах при підвищених значеннях I_p на швидких обертах не повинні перевищувати 350В через ймовірність появи електростатичних розрядів.

В системах запалювання з транзисторною комутацією струму вплив дуги не враховується, необхідну МРС (ампер-витки) розриву забезпечують при меншому значенні L_1 (числа витків) шляхом підвищення струму розриву за рахунок зниження r_{w1} (збільшення діаметру проводу d_1).

Для тиристорних систем з накопиченням енергії в ємності, величина L_1 обирається залежно від величини накопичувальної ємності C_1 таким чином, щоб забезпечити коливальний процес обміну енергією в коливальному контурі в резонансному режимі.

За умовою припустимого нагрівання котушки, потужність втрат у ній P_1 не повинна перевищувати певної величини

$$P_1 = U_{AB} I_C = r_{w1} I_C^2 \leq P_{\text{доп}}, \quad (5.5.1)$$

де I_C – сталі значення струму первинного кола.

Для типових котушок, величина потужності допустимих втрат $P_{\text{доп}}$ становить 40Вт. При перевищенні цієї межі спостерігається перегрів ізоляції й зниження електричної міцності вторинної обмотки. В загальному випадку нагрівання котушки залежить від потужності втрат, площі охолоджуючої поверхні, здатності конструкції розсіювати тепло в оточуюче середовище, теплопровідності матеріалів усередині котушки. Нагрівання котушки можна змінювати в широких межах, застосовуючи виносний додатковий опір шляхом зміни співвідношення між опорами обмотки r_{w1} і додатковим резистором $R_{д1}$. Зменшення r_{w1} (збільшення перерізу проводу) приводить до збільшення витрат міді на первинну обмотку.

Для оцінки працездатності системи запалювання її робоча характеристика $U_{2m}=f(n)$ порівнюється з пробивною напругою свічки запалювання $U_{пр}$. Величина пробивної напруги залежить від тиску, хімічного складу і температури газу в зоні іскрового проміжку свічки запалювання. Ці фактори визначаються режимом роботи ДВЗ і тому пробивна напруга розглядається як функція від швидкості обертання колінчастого валу двигуна. Дослідження показують, що найбільші значення $U_{пр}$ спостерігаються на режимах пуску та розгону ДВЗ. Крім того значення $U_{пр}$ змінюється в процесі експлуатації автомобіля в наслідок ерозії електродів свічки запалювання. Тому, величина напруги $[U_{2m}]$, яка забезпечує стійке іскроутворення, обирається виходячи із заданих значень $U_{пр}(n)$ з урахуванням коефіцієнту запасу k_3 і спадання напруги в іскровому проміжку розподільника ΔU_p

$$U_{2m} = U_{пр} k_3 + \Delta U_p . \quad (5.5.2)$$

В результаті одержують залежність $U_{2m} = f(n)$, яка визначає мінімально припустимі значення вторинної напруги в робочому діапазоні частот обертання ДВЗ (рис. 5.5.1).

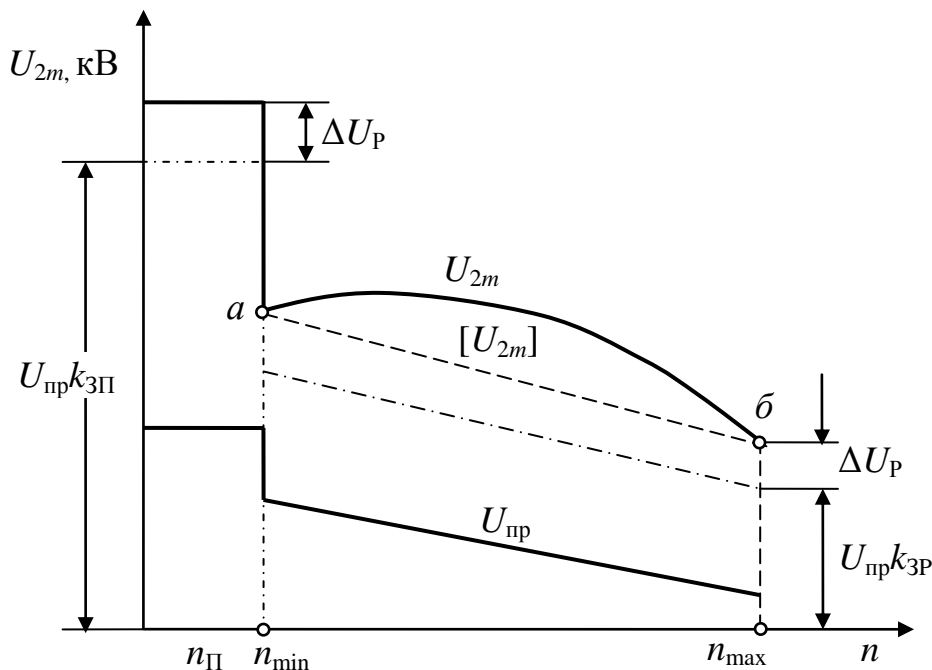


Рис. 5.5.1. Робоча характеристика системи запалювання

На основі цієї залежності приступають до розрахунку котушки запалювання. При проектуванні системи запалювання зазвичай задаються трьома значеннями напруги пробою – при пуску $U_{\text{пр.п}}$, на мінімальній $U_{\text{пр.н.min}}$ та максимальній $U_{\text{пр.н.max}}$ частоті обертання. Коефіцієнт запасу на режимі пуску та робочому режимі визначають емпірично $k_{\text{зп}} = 1 + 7/U_{\text{пр.н}}$, $k_{\text{зр}} = 1 + 4/U_{\text{пр.н}}$, де $U_{\text{пр.н}}$ - пробивна напруга нової свічки виражена у кіловольтах.

Напругу живлення системи в робочому режимі обирають рівною номінальній напрузі акумуляторної батареї $U_{\text{аб}}$, а в режимі пуску $U_{\text{бп}} = 0,6 \dots 0,8 U_{\text{аб}}$ залежно від характеристик системи пуску та умов експлуатації автомобіля.

При визначенні U_{2m} , втрати потужності (4.2.14) в колах системи враховують через еквівалентні параметри (4.2.13). Для розрахунку еквівалентних параметрів R_e , C_e , треба визначити структурні параметри, значення яких залежать від типу системи запалювання.

На практиці, опір втрат в котушці запалювання оцінюють через емпіричну залежність $R_B = 0,7 \sqrt{k_T}$ мОм. Для систем з контактною комутацією цей опір становить $R_B = 3 \dots 6$ мОм, для транзисторних систем $R_B = 8 \dots 12$ мОм.

Шунтуюча дія нагару на свічці запалювання в експлуатаційних умовах становить $R_{\text{ш}} = 6 \dots 12$ мОм. При розрахунках нових систем зазвичай приймають $R_{\text{ш}} = 3$ мОм для не екранованих та $R_{\text{ш}} = 1$ мОм для екранованих систем запалювання.

Ємність конденсатора первинного кола при розрахунках класичних систем (див. рис. 4.2.2.) приймають $C_1 = 0,25$ мкФ. Ємність вторинного кола системи запалювання утворюється потенційними провідниками окремих її елементів відносно корпусної маси

$$C_2 = C_K + C_{\text{ш}} = C_K + C_P + C_{\text{пр}} + C_{\text{св}}, \quad (5.5.3)$$

де C_K – ємність вторинної обмотки котушки запалювання;

$C_{\text{ш}}$ - ємність вторинного кола системи;

C_P – ємність іскрового розподільника;

$C_{\text{пр}}$ – ємність високовольтних проводів;

$C_{\text{св}}$ – ємність свічки запалювання.

Значення цих параметрів залежать від типу системи, особливостей конструкції і монтажу її елементів. При розрахунках нової системи приймають: $C_K=40\dots60\text{пФ}$; $C_P=15\dots25\text{пФ}$; питома ємність проводів без екрану $C_{\text{пр}}=0,1\dots0,4\text{пФ/м}$, екранованих проводів $C_{\text{пр}}=0,9\dots1,2\text{пФ/м}$; не екранованих свічок $C_{\text{св}} = 10\dots12\text{пФ}$, екранованих – $C_{\text{св}}=30\dots40\text{пФ}$. Загальна ємність $C_{\text{ш}}$ обирається рівною 35пФ – для 4-х, 50пФ – для 6-ти, 75пФ – для 8-ми циліндрових (каналних) не екранованих систем запалювання і відповідно 170...220пФ – для екранованих.

Для систем з контактною комутацією струму первинного кола визначають коефіцієнт дуги на підставі емпіричних залежностей (рис. 5.5.2)

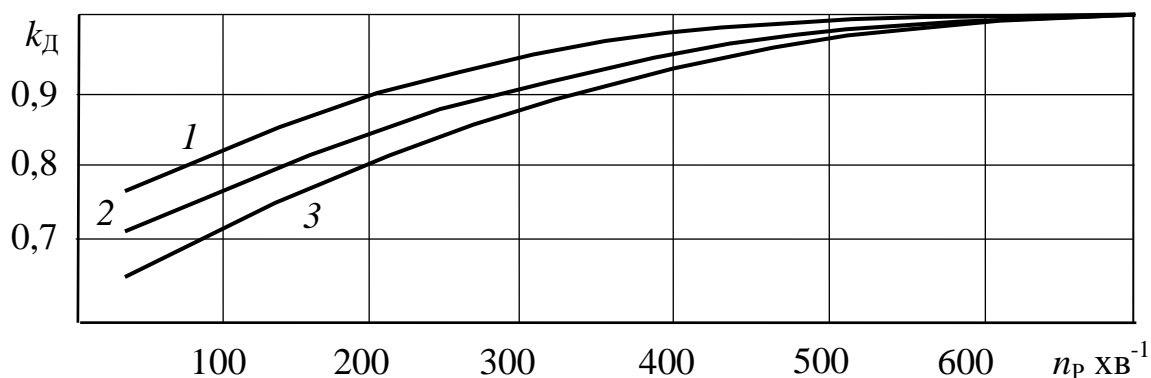


Рис. 5.5.2. Залежність коефіцієнта дуги від режимних факторів:
 1 – при напрузі 12В та струму 3,5А; 2 – при напрузі 12В та струму 6А;
 3 – при напрузі 24В та струму 4А

При визначенні параметрів системи запалювання з транзисторною комутацією струму, втрати на дугу не враховуються ($k_D=1$ у всьому частотному діапазоні).

Опір первинної обмотки з урахуванням її нагріву до робочої температури визначають згідно (1.2). Температурний коефіцієнт опору для мідного проводу становить $\alpha_r=0,004$. Температура обмотки в режимі пуску приймають $\theta_{\text{п}}=35^\circ\text{C}$, в робочому $\theta_{\text{р}}=105^\circ\text{C}$. Таким чином опір первинної обмотки має відповідне збільшення в порівнянні з холодним станом $r_{w,\text{п}}=1,08 r_{w1}$, $r_{w,\text{р}}=1,34 r_{w1}$.

Кут замкнутого стану контактів α_3 залежить від числа циліндрів, пропорційних розмірів профілю кулачка переривника γ_3 . Значення α_3 визначаються типом переривника розподільника, який використовується, або обирається за рекомендованими значеннями.

5.5.2. Оптимізація параметрів котушки запалювання

Розрахунок котушки запалювання складається з розрахунку (оптимізації) електромагнітних параметрів (r_{w1} , R_1 , L_1 , k_T) і конструктивного розрахунку (визначення числа витків w_1 , w_2 , діаметрів проводів, типу та розмірів магнітопроводу).

Вихідними даними для розрахунку котушки запалювання є: число циліндрів двигуна z ; пробивна напруга в робочому діапазоні частот $U_{пр}=f(n)$; коефіцієнт запасу на пробій k_3 ; напруга живлення в робочому режимі U_{AB} і при пуску $U_{БП}$; еквівалентні параметри системи R_e , C_e або структурні параметри кіл R_B , $R_{Ш}$, C_1 , C_2 ; температура робочого й пускового режимів θ_p , $\theta_{п}$.

В попередньому розділі посібника проаналізовано вплив параметрів кіл системи запалювання на рівень вторинної напруги (див. рис. 4.2.6). На даному етапі проектування вирішується задача оптимізації значень індуктивності первинної обмотки L_1 та коефіцієнту трансформації котушки запалювання k_T при заданих параметрах електричних кіл і режимах функціонування системи.

Аналіз (4.2.15) показує, що для певних значень C_e , R_e , L_1 існує оптимальне величина коефіцієнту трансформації k_T котушки запалювання при якому вторинна напруга є максимальною. Для оцінки якості перетворення енергії в котушці запалювання використовують питомий показник – коефіцієнт струму, який визначається співвідношенням вторинної напруги до струму розриву первинного кола

$$k_i = \frac{U_{2m}}{I_p} = f k_T \quad . \quad (5.5.4)$$

Сукупність характеристик $k_i=f(k_T)$ отримана на підставі (4.2.2), (4.2.15) для різних значень L_1 показана на рис. 5.5.3, а. Пряма лінія, що з'єднує максимуми кривих, визначає співвідношення між L_1 та k_T , при яких забезпечується максимальне значення U_{2m} (при $I_p=const$). Це також означає, що потрібна величина U_{2m} може бути забезпечена при різних значеннях L_1 та I_p (підвищення L_1 при заданому значенні U_{2m} дозволяє знизити струм розриву).

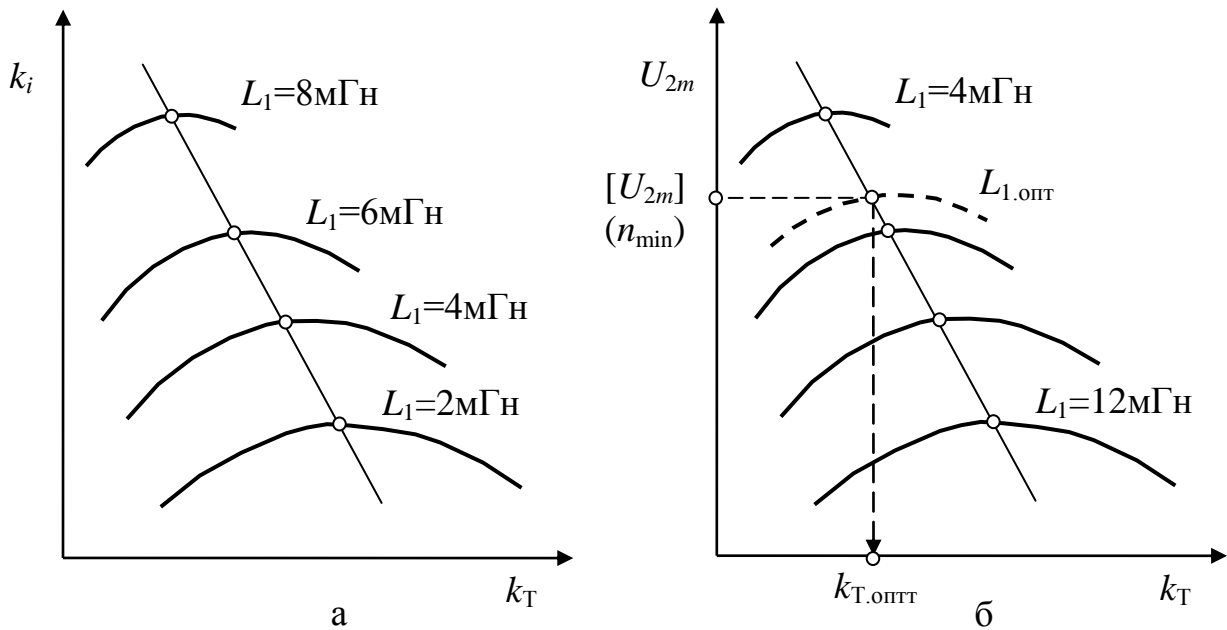


Рис. 5.5.3. Залежності між параметрами котушки запалювання

Для того, щоб крива напруги, що розраховується $U_{2m}=f(n)$ проходила через крайні точки характеристики $[U_{2m}]=f(n)$ (рис. 5.5.1) необхідно, щоб постійна часу первинного кола $\tau_1=L_1/R_1$ мала цілком певне значення (забезпечувала певний ухил робочої характеристики). З метою визначення τ_1 розглядають рівняння для крайніх точок характеристики (при n_{\min} й n_{\max}) у припущенні, що напруги, які утворюються системою запалювання в цих точках, рівні заданим.

$$U_{2m \ n.\max} = \frac{U_{\text{АБ}}}{R_1} k_{\text{Д} \ n.\max} k_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{3 \ n.\max}}{\tau_1}\right) \right], \quad (5.5.5)$$

$$U_{2m \ n.\min} = \frac{U_{\text{АБ}}}{R_1} k_{\text{Д} \ n.\min} k_i \left[1 - \exp\left(-\frac{t_{3 \ n.\min}}{\tau_1}\right) \right],$$

де $k_{\text{Д}}$ – коефіцієнт дуги (див. рис. 5.5.2)

У припущенні, що $k_{\text{Д}(n.\max)}=1$, ці рівняння відносно τ_1 мають рішення [18]

$$\tau_1 = \frac{t_{3 \ n.\max}}{\ln\left(1 - k_{\text{Д} \ n.\min} \frac{U_{2m \ n.\max}}{U_{2m \ n.\min}}\right)}. \quad (5.5.6)$$

Визначена в такий спосіб постійна τ_1 задовольняє крайнім точкам та відповідно і всім проміжним точкам робочої характеристики.

Величину струму розриву I_P у первинному колі при мінімальних обертах (вважаючи, що I_P досягне сталого значення) можна визначити через постійну часу

$$I_P = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{U_{AB} k_d \tau_1}{L_1}. \quad (5.5.7)$$

Підставляючи (5.5.7) в (4.2.15) отримуємо вираз для визначення вторинної напруги з двома невідомими k_T та L_1

$$U_{2m} k_T, L_1 = \frac{U_{AB} \tau_1}{\sqrt{L_1 C_e}} k_d k_L k_T \eta. \quad (5.5.8)$$

Коефіцієнт магнітного зв'язку при розрахунках приймають $k_L=0,9\dots0,96$ – для котушок з розімкнутим магніто проводом та $k_L=0,96\dots1,0$ – для конструкцій з замкнутою магнітною системою (в тому числі з малими робочими зазорами).

Слід розуміти, що коефіцієнт η (4.2.14), у свою чергу (4.2.13), також визначається через параметри котушки k_T, L_1

$$\eta k_T, L_1 = \exp \left(- \frac{\arctg \sqrt{\frac{4 R_B R_{III} / [k_T^2 (R_B + R_{III})]^2 C_1 + C_2 k_T^2}{L_1} - 1}}{\sqrt{\frac{4 R_B R_{III} / [k_T^2 (R_B + R_{III})]^2 C_1 + C_2 k_T^2}{L_1} - 1}} \right). \quad (5.5.9)$$

Оптимальні значення параметрів котушки запалювання $L_{1, \text{опт}}$, $k_{T, \text{опт}}$ визначають на режимі мінімальних обертів $U_{2m \text{ n.min}}$ шляхом побудування сімейства характеристик $U_{2m} = f(k_T)$ для різних значень L_1 (рис. 5.5.3, б).

Розрахунок системи запалювання виконують у такий спосіб:

1. Згідно (5.5.2) та рис. 5.5.1 визначають розрахункові вторинні напруги на режимах пуску, мінімальних та максимальних обертів

$$U_{2m \text{ П}} = U_{\text{пр.П}} k_{3\text{П}} + \Delta U_{\text{р}}, \quad U_{2m \text{ н.мин}} = U_{\text{пр(н.мин)}} k_{3\text{р}} + \Delta U_{\text{р}}, \quad (5.5.10)$$

$$U_{2m \text{ н.маx}} = U_{\text{пр(н.маx)}} k_{3\text{р}} + \Delta U_{\text{р}}$$

2. Визначають коефіцієнти нагрівання при пуску та в робочому режимі

$$k_{\theta, \text{П}} = 1 + \alpha_t (\theta_{\text{П}} - 20), \quad k_{\theta, \text{р}} = 1 + \alpha_t (\theta_{\text{р}} - 20), \quad (5.5.11)$$

3. На підставі залежностей (рис. 5.5.2) визначають коефіцієнти дуги на різних режимах $k_{\text{ДП}}, k_{\text{Д(н.мин)}}, k_{\text{Д(н.маx)}}=1$, за допустимим струмом розриву $I_{\text{р.доп}}$. Значення $I_{\text{р.доп}}$ обумовлені зносостійкістю контактів переривника становлять 6А (в режимі пуску) і 3,5А (в робочому режимі) для систем з $U_{\text{АБ}} = 12\text{В}$ та відповідно 2А і 4А для систем з $U_{\text{АБ}} = 24\text{В}$.

4. На основі формули (5.5.6) з врахуванням співвідношення $t_3 = \alpha_3 / 6n$, розраховують постійну часу, що задовольняє швидкісному діапазону

$$\tau_1 = \frac{\alpha_3}{6n_{\text{маx}} \ln \left(1 - k_{\text{Д(н.мин)}} \frac{U_{2m \text{ н.маx}}}{U_{2m \text{ н.мин}}} \right)}. \quad (5.5.12)$$

5. Визначають мінімальний коефіцієнт трансформації

$$k_{\text{Т.мин}} = \frac{U_{2m \text{ н.мин}}}{U_{1m}}, \quad (5.5.13)$$

Величина U_{1m} для класичних систем обирається залежно від комутуючої здатності контактів та зазвичай становить 350...400В (для вольфрамових контактів). В системах з транзисторною комутацією U_{1m} визначається допустимим значенням напруги транзистора $U_{\text{КЕ.маx}}$ та енергією його лавинного пробою. Тому перш ніж приступити до розрахунку котушки запалювання треба обрати тип силового транзистора.

6. Визначають опір втрат $R_B = 0,7\sqrt{k_{T.min}}$ [МОм] та призначають величини інших структурних параметрів ($R_{Ш}, C_1, C_2$) за атрибутами системи.

7. По формулах (5.5.9), (5.5.8) розраховують функції вторинної напруги $U_{2m}=f(k_T)$ та будують сімейство цих характеристик (рис. 5.5.3, б). Варіація значень аргументів при практичних розрахунках котушок класичних систем становить $L_1=4...12$ мГн, $k_T=k_{T.min}...120$. Оптимальні значення $L_{1.опт}, k_{T.опт}$ визначають для розрахованої вторинної напруги на мінімальних обертах двигуна $[U_{2m}]_{n.min}$.

8. Розраховують опір первинного кола в робочому режимі (нагрітому стані) при оптимальній індуктивності котушки

$$R_{1P} = L_{1.опт} / \tau_1 \quad (5.5.14)$$

9. Визначають коефіцієнт струму з урахуванням дії дуги

$$k_I = \frac{[U_{2m}]_{n.min}}{I_{P.max}} = \frac{[U_{2m}]_{n.min} R_{1P}}{U_{AB} k_{Д n.min}} \quad (5.5.15)$$

де $I_{P.max}$ - значення струму розриву на мінімальних обертах.

10. Розраховують опір первинної обмотки

$$r_{w1} = \frac{U_{БП} k_I k_{ДП}}{U_{2m \Pi} k_{\theta, \Pi}} \quad (5.5.16)$$

11. Перевіряють допустимі струмові навантаження контактів в робочому режимі та при пуску

$$I_P = \frac{U_{2m n.min}}{k_I} = \frac{U_{AB}}{r_{w1}} \leq I_{P.доп}, \quad I_{ПП} = \frac{U_{2m \Pi}}{k_I} = \frac{U_{БП}}{r_{w1}} \leq I_{ПП.доп} \quad (5.5.17)$$

Якщо умови не задовольняються, збільшують індуктивність $L_1 > L_{1.опт}$ та перераховують відповідні параметри. В системах з транзисторною комутацією перевіряється придатність транзистора за допустимим струмом колектора $I_{ПП} \leq I_{К.max}$.

12. Перевіряють потужність, що розсіюється первинною обмоткою котушки запалювання, згідно (5.5.1)

$$P_1 = I_P^2 r_{wl} k_{\theta P} \leq 40 \text{Вт}. \quad (5.5.18)$$

13. Визначають опір додаткового резистору

$$R_{дл} = R_{IP} - r_{wl} k_{\theta P}. \quad (5.5.19)$$

При розрахунках котушки запалювання для роботи з транзисторним комутатором в сумарному опорі первинного кола необхідно враховувати частку опору транзистора у відкритому стані.

14. Будують робочі характеристики системи згідно (4.2.20)

$$U_{2m} n = \frac{U_{AB}}{R_{IP}} \left[1 - \exp \left(- \frac{120 \gamma R_{IP}}{z_c L_{1.опт} n} \right) \right] k_L k_D k_{T.опт} \eta_{опт} \sqrt{\frac{L_{1.опт}}{C_1 + C_2 k_{T.опт}^2}}. \quad (5.5.20)$$

Коефіцієнт дуги у формулі (5.5.18) підставляють у відповідності з швидкісним режимом (див. рис. 5.5.2). Коефіцієнт втрат $\eta_{опт}$ в (5.5.20) визначають через оптимальні значення $k_{T.опт}, L_{1.опт}$. Для систем з транзисторною комутацією, вторинну напругу визначають з урахуванням втрат у транзисторі через коефіцієнт запирання k_Z . Величина k_Z залежить від частотних властивостей комутуючого транзистора та практично становить 0,9...0,98.

Якщо розрахункові напруги U_{2m} при пуску, мінімальній та максимальній частоті обертання відповідають заданим $[U_{2m}]$ (рис. 5.5.1), результати розрахунку вважають задовільними. Ступень невідповідності оцінюють за реальним коефіцієнтом запасу значення якого в будь-якій точці характеристики не повинно бути нижче 1,3

$$k_3 = \frac{U_{2m} - 1,5 \text{кВ}}{U_{пр}}. \quad (5.5.21)$$

Додатковий резистор використовують для компенсації підсадки напруги під час пуску ДВЗ шляхом його заколючування на період підключення стартеру. Крім того активна частка опору зменшує постійну часу первинного кола (поліпшує швидкісну робочу харак-

теристику системи) й локалізує теплові втрати первинного кола за межами конструкції котушки запалювання.

Особливістю розрахунку котушок запалювання, які використовуються без додаткового резистора є визначення напруги $[U_{2m}]$ при мінімальних обертах

$$U_{2m \ n.min} = U_{2m \ П} \cdot \frac{k_{\theta,П}}{k_{\theta,Р}} \cdot \frac{k_{ДП}}{k_{Д(n.min)}} \cdot \frac{U_{АБ}}{U_{БП}}. \quad (5.522)$$

Отримана характеристика $U_{2m}=f(n)$, в цьому випадку, буде значно вище ніж задана $[U_{2m}]=f(n)$. Підвищений струм розриву на малих обертах ДВЗ викликає додатковий нагрів котушки. Тому в котушках запалювання, які розраховані на роботу без додаткового резистора слід застосовувати електроізоляційні матеріали більш високого класу.

Покрокова структура розрахунку системи запалювання в загальному вигляді показана на рис. 5.5.4. За визначеними параметрами L_1, k_T, r_{w1} обирають базову конструкцію (тип) котушки запалювання.

5.5.3. Розрахунок магнітної системи та обмоткових даних

У котушках запалювання використовують замкнуті або розімкнуті магніто проводи [17, 20]. Розімкнута магнітна система дозволяє підвищити швидкість перемагнічування сердечника та відповідно отримати більші значення U_{2m} при визначеній МРС первинної обмотки котушки запалювання.

Конструктивний розрахунок полягає в реалізації знайдених параметрів котушки (r_{w1}, L_1, k_T). При цьому розглядаються два підходи.

В першому випадку по таблицях підбирають базову котушку, тип й орієнтовні розміри магнітопроводу якої забезпечують необхідні значення L_1, k_T . Другий підхід полягає в розрахунку первинної магнітної провідності котушки запалювання (нової синтезованої конструкції).

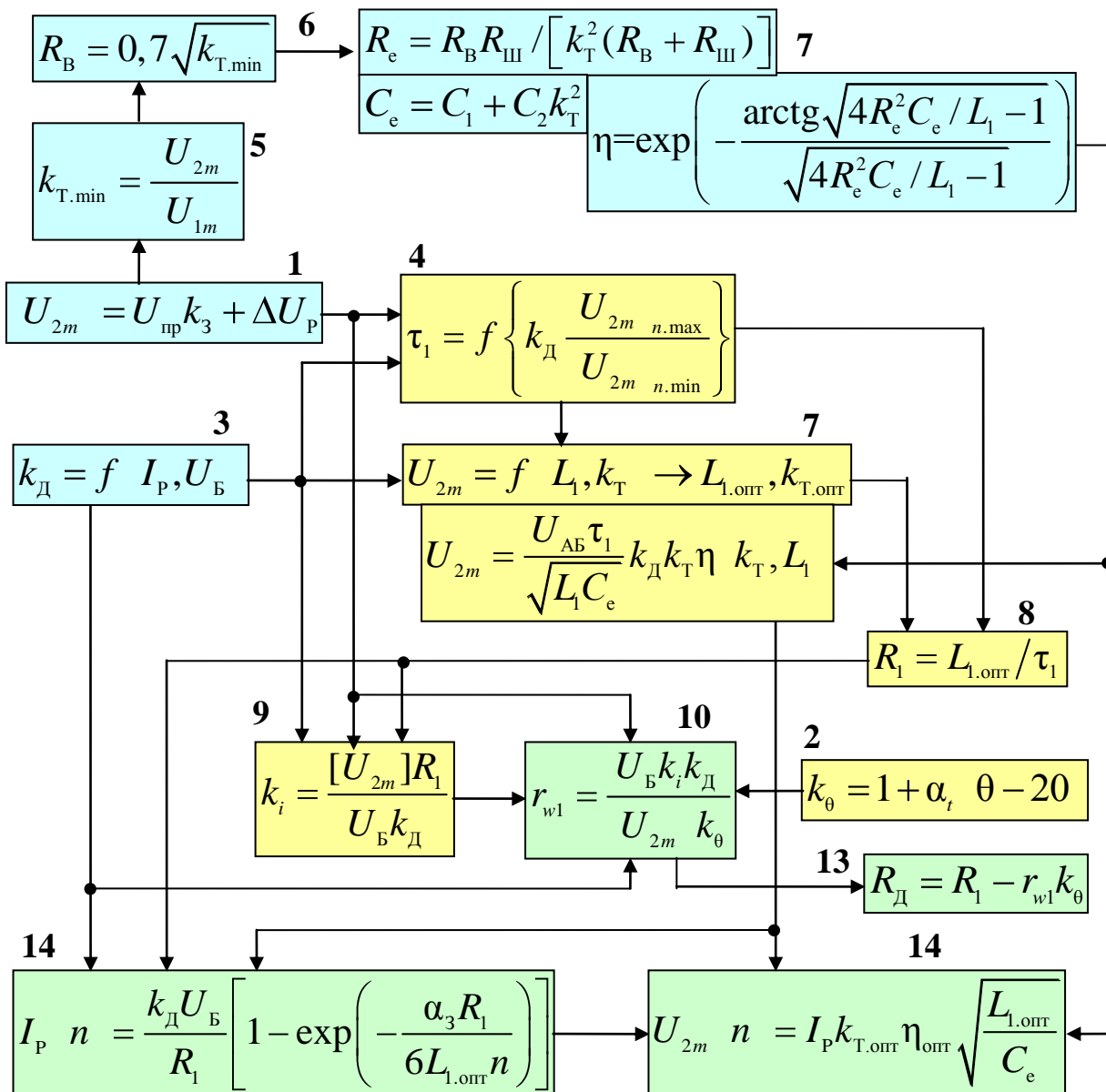


Рис. 5.5.4. Структура розрахунку системи запалювання

Індуктивність первинної обмотки котушки запалювання визначається через провідність магнітного кола потоку первинної обмотки G [18]

$$L_1 = G w_1^2. \quad (5.5.23)$$

Виходячи з (5.5.23) визначають магнітну провідність базової котушки та підраховують число витків первинної й вторинної обмоток котушки, що проектується

$$w_1 = \sqrt{\frac{L_1}{G_0}} = w_{01} \sqrt{\frac{L_1}{L_{01}}}, \quad w_2 = w_1 k_T. \quad (5.5.24)$$

де G_0, L_{01}, w_{01} - параметри базової котушки.

Діаметр проводу первинної обмотки заданого опору r_{w1} визначають згідно (1.1) через розміри базової котушки запалювання

$$r_{w1} = \rho \frac{4D_{1cp} w_1}{d_1^2}, \quad d_1 = \sqrt{\frac{4\rho D_{1cp} w_1}{r_{w1}}}, \quad (5.5.25)$$

де D_{1cp} – середній діаметр первинної обмотки базової котушки;
 ρ – питомий опір матеріалу проводу обмотки.

Щільність струму в проводі обмотки яка визначає її температурний режим розраховують для мінімальних обертів ДВЗ

$$J = \frac{4I_{P,max}}{\pi d_1^2}. \quad (5.5.26)$$

Щільність струму в проводі первинної обмотки для котушок з мастильним охолодженням не повинна перевищувати 10А/мм^2 .

Діаметр проводу вторинної обмотки d_2 вибирають з міркувань механічної міцності, технологічності, габаритних розмірів і вартості котушки ($d_2 = 0,06 \dots 0,075\text{мм}$). Вразі необхідності коректувати розміри котушки запалювання відносно до базової конструкції використовують спеціальну методику.

Площа поперечного перерізу яку займають первинна та вторинна обмотки (на одну сторону) змінюються в залежності від розрахованих обмоткових даних

$$S_1 = \frac{w_1 \pi d_1^2}{4k_{M1}}, \quad S_2 = \frac{w_2 \pi d_2^2}{4k_{M2}}, \quad (5.5.27)$$

де k_M – коефіцієнти заповнення вікон обмоток міддю.

Зовнішній діаметр вторинної обмотки визначають через конструктивні розміри первинної обмотки базової котушки

$$D_{32} = D_{301} - 2S_1/l_{01}, \quad (5.5.28)$$

Довжина ряду вторинної обмотки визначається при її незмінному (базовому) внутрішньому діаметрі $D_{B.02}$

$$l_2^1 = \frac{2S_2}{D_{32} - D_{B.02}}. \quad (5.5.29)$$

Якщо за результатами розрахунків, геометричні розміри вікон обмоток не забезпечують обмоткові дані (розміщення числа витків проводу заданого діаметру) проводять корекцію довжини первинної обмотки або діаметру проводу вторинної. З метою підвищення ефективності використання активних матеріалів прагнуть, щоб довжина вторинної обмотки не перевищувала довжини первинної.

Зміну величини провідності при скоректованих розмірах обмоток враховують за емпіричною формулою [18, 19]

$$\Delta G = \Delta l_1 \frac{\pi \mu_0}{12 \ln \left(\frac{D_2}{D_1} \right)}, \quad (5.5.30)$$

де D_1 – діаметр сердечника (внутрішнього магнітопроводу);

D_2 – внутрішній діаметр зовнішнього магніто проводу;

Δl_1 – зміна довжини первинної обмотки.

Далі згідно (5.5.24) уточнюють число витків обмоток.

Розрахунок первинної магнітної провідності котушки запалювання (другий підхід) виконують у відповідності з кресленням її магнітної системи.

Для прикладу розглянемо конструкцію одновивідної циліндричної котушки з магнітопровідним корпусом (рис. 5.5.5, а). Складові компоненти провідності G_i знаходять шляхом розбивання магнітного кола на окремі ділянки з однорідною провідністю (рис. 5.5.5, б) та будують еквівалентні схеми заміщення магнітного кола, які відображають її конструкцію (рис. 5.5.5, б, в, г).

Методика визначення значень магнітної провідності окремих ділянок аналогічна розрахунку G_i будь-якої електричної машини. При розрахунку магнітної провідності приймають наступні припущення [18]:

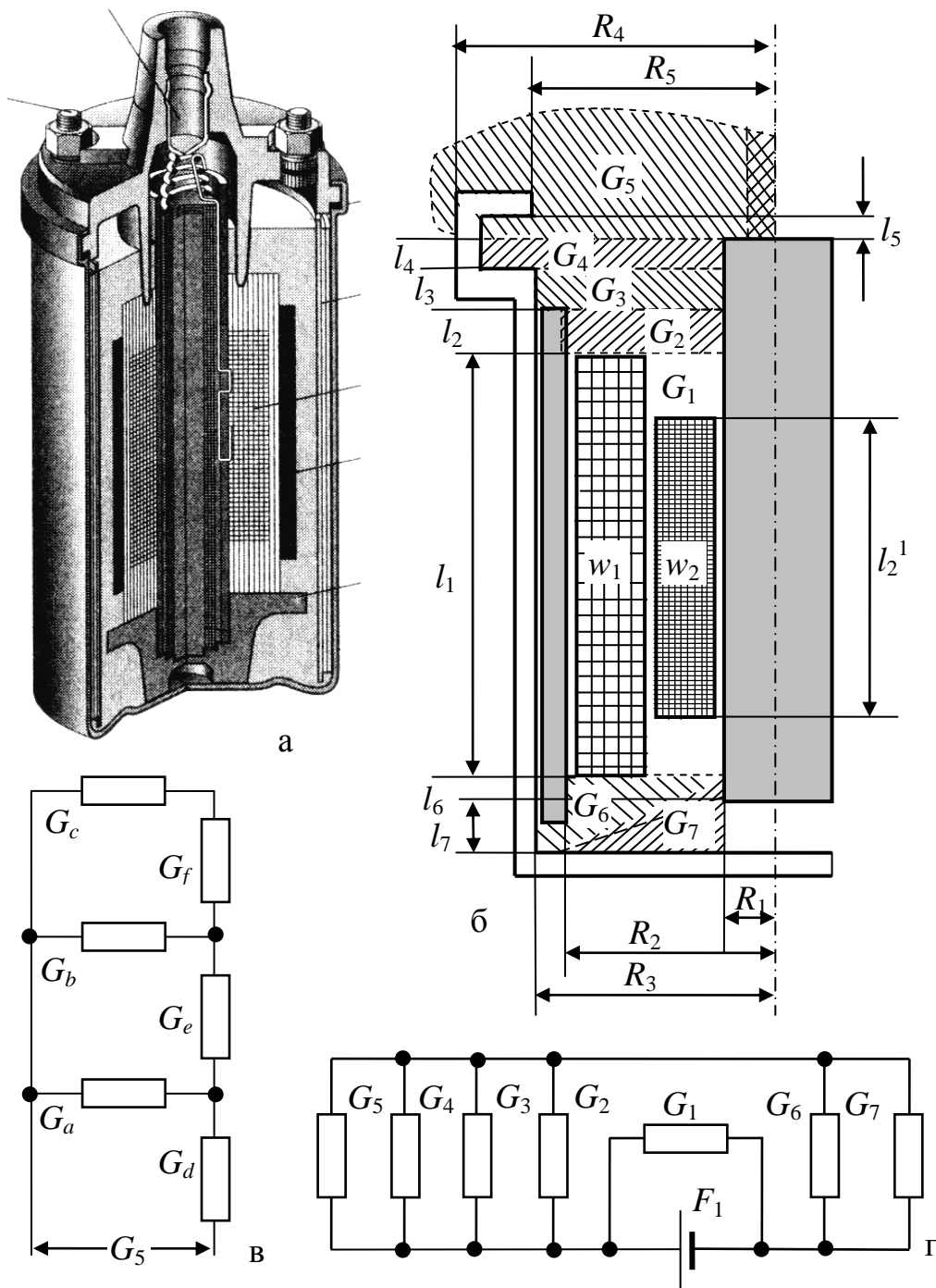


Рис. 5.5.5. До розрахунку магнітного кола котушки запалювання:
 а – конструкція котушки; б – розрахункова схема; в – схема заміщення
 провідності торцевої частини; г – схема заміщення магнітного кола

- максимум потоку в сердечнику співпадає з площиною симетрії первинної обмотки;
- падіння магнітного потенціалу в сердечнику дорівнює нулю;
- всі лінії магнітного поля проходять через сердечник.

Згідно схемі заміщення (рис. 5.5.5, г), результуюча провідність магнітному потоку, який утворено первинною обмоткою, становить

$$G = G_1 + \frac{G_2 + G_3 + G_4 + G_5 \cdot G_6 + G_7}{G_2 + G_3 + G_4 + G_5 + G_6 + G_7}. \quad (5.5.31)$$

Провідність між двома коаксіальними циліндрами на довжині l_i визначають через відносну радіальну відстань поверхонь [19]

$$G_i = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{D_i}{D_0}\right)} l_i, \quad (5.5.32)$$

де D_i – діаметр внутрішнього циліндру;

D_0 – внутрішній діаметр зовнішнього циліндру.

Провідність немагнітної ділянки в осьовому напрямку згідно (1.81) визначають через її геометричні розміри

$$G_i = \mu_i \frac{S_i}{l_i}, \quad (5.5.33)$$

Приведена провідність на довжині первинної обмотки

$$G_1 = \frac{\pi\mu_0}{6 \cdot \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_1. \quad (5.5.34)$$

Провідність окремих ділянок магнітної системи обраної котушки в радіальному напрямку згідно (5.5.32)

$$G_2 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_2, \quad G_3 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_3}{R_1}\right)} l_3, \quad G_4 = \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_4}{R_1}\right)} l_4. \quad (5.5.35)$$

Верхня торцева провідність G_5 складається з часткових осьових G_d, G_e, G_f та радіальних G_a, G_b, G_c провідностей (рис. 5.5.5, в),

які підраховуються на підставі (5.5.33) та (5.5.32) згідно з геометричними розмірами креслення

$$\begin{aligned}
 G_a &= \frac{2\pi\mu_0}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)} l_3, & G_b &= \mu_0 \frac{S_b}{l_b} = \frac{\mu_0\pi R_4^2 - R_2^2}{\sqrt{\left(\frac{R_4^2 - R_2^2}{4R_1}\right)^2 - R_4 - R_1^2}}, \\
 G_c &= \mu_0 \frac{S_c}{l_c} = \frac{\mu_0 2\pi R_4 R_4 - R_5}{\pi l_4 - \sqrt{\left(\frac{R_4^2 - R_2^2 + R_4 R_4 - R_5}{4R_1} - l_4\right)^2 - R_4 - R_1^2}}, \\
 G_d &= \mu_0 \frac{2\pi R_1^2}{l_5}, & G_e &= \mu_0 \frac{4\pi^2 R_1^3}{S_b} = \mu_0 \frac{4\pi R_1^3}{R_4^2 - R_2^2}, \\
 G_f &= \mu_0 \frac{4\pi^2 R_1^3}{S_b + S_c} = \mu_0 \frac{4\pi R_1^3}{R_4^2 - R_2^2 + 2R_4 R_4 - R_5}.
 \end{aligned} \tag{5.5.36}$$

Еквівалентну провідність G_5 підраховують у відповідності зі схемою заміщення (рис. 5.5.5, б). Нижня торцева провідність складається з двох паралельних ділянок G_6, G_7 (рис. 5.5.5, в)

$$G_6 = \frac{2\pi\mu_0 A l_6}{R_2 - R_1 \ln\left[\frac{R_2 R_1 + A}{R_1 R_2 + A}\right]}, \quad G_7 = \mu_0 \frac{2\pi R_1 R_2}{l_7}, \tag{5.5.37}$$

де $A = \frac{l_6}{l_7} R_2 - R_1 - R_1$.

Після визначення еквівалентної провідності G згідно (5.5.31) проводять розрахунок обмоткових даних та конструктивних розмірів по формулах (5.5.24)... (5.5.29).