

ЕЛЕКТРОННИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСІВ ЕНЕРГООБМІНУ В ЕКІПАЖІ

Вступ

Розгін рухомого складу до заданої швидкості руху супроводжується перехідними процесами і проходженням конструкційних резонансів, які впливають на динаміку екіпажа. Дослідження показують, що такі явища проявляється в різній мірі на усіх видах тягового рухомого складу, і тому мають загальну природу і подібні закономірності.

Взаємодія коливань візків, які супроводжують процес вписування в колію, з коливаннями потужності електричної передачі тепловоза відбувається в нелінійних елементах екіпажа та призводить до утворення складного спектра. Особливості такого спектра коливань екіпажа визначаються достатньо великою енергією, що запасється у нелінійних пружних елементах першої і другої ступіней підвішування. При спільному впливі на такі нелінійні елементи екіпажа декількох джерел коливань стає можливим обмін енергією між джерелами коливань.

Таким чином, контроль і математичний опис процесів енергообміну між механічною й електричною частинами екіпажа є актуальною науково-технічною задачею, що має своєю метою визначення критичних режимів руху, які супроводжуються резонансними явищами в електромеханічній передачі, і одержання аналітичних залежностей, що встановлюють зв'язок між конструкцією і процесами енергообміну.

Основний зміст дослідження

Для дослідження і контролю резонансних явищ екіпажної частини рухомого складу авторами був розроблений електронний пристрій (рисунок 1), що реєструє безконтактно, за допомогою датчиків Холла, періодичні зміни струму тягових електродвигунів (ТЕД) і головного генератора тепловоза 2ТЕ116 з одночасною реєстрацією за допомогою акселерометрів періодичних коливань у контрольних точках на ТЕД, буксових вузлах, візках, кузові тепловоза. Періодичні переміщення в контрольних точках виявлялися шляхом спектрального аналізу сигналів акселерометрів як у низькочастотній області, так і на високих гармоніках. Канали реєстрації періодичних

змін (обвідної) струму були відкалібровані в діапазоні струмів 100...1000 А. Форма і величина вихідної напруги головного генератора визначалася за допомогою кола гальванічної розв'язки на основі оптрона і 10-розрядного аналого-цифрового перетворювача (АЦП) з комутатором вихідних сигналів. АЦП також використовувався для перетворення сигналів датчиків Холла в синхронізовані за часом числові ряди.

Електронний пристрій (рисунок 1) працює в такий спосіб. Після ініціалізації електронного пристрою мікроконтролер 12 за програмою, записаною у флеш-пам'яті 17, із заданою періодичністю здійснює контроль струмів ТЕД за допомогою групи безконтактних датчиків Холла 1 – 6 і струму головного генератора за допомогою датчика Холла 7, а також напруги головного генератора за допомогою оптронного датчика 8. Вихідні електричні сигнали датчиків нормуються за допомогою нормуючих перетворювачів 9 до рівнів динамічного діапазону аналогового комутатора 10 і АЦП 11. Роботою аналогового комутатора керує мікроконтролер 12. Додатково в режимі переривання здійснюється контроль частоти обертання колеса і визначаються поточна і середня швидкості руху. За результатами контролю струмів і напруги головного генератора визначається поточна потужність і виявляються моменти її періодичної зміни. Датчик Холла 13 дозволяє контролювати швидкість руху складу. Група акселерометрів 18 – 25 реєструє віброприскорення в контрольних точках екіпажа і призначена для визначення режимів, що супроводжуються конструкційними резонансами механічної частини екіпажа. Тензодатчик 26 встановлюється на автозчепленні і призначений для контролю середньої сили тяги і її періодичних коливань, пов'язаних з подовжньою динамікою складу.

У конструкції електронного пристрою передбачені блоки, які дозволяють здійснювати автоматичне відстроювання від резонансів, що супроводжуються енергообміном між електричною і механічною частинами екіпажа. Блок 16 керування жорсткістю гасителів коливань призначений для відстроювання від резонансу механічної частини екіпажа, а блок 17 набору і скидання позицій контролера машиніста – для відстроювання від резонансу електричної частини екіпажа в режимах руху, що супроводжуються коливаннями екіпажа з частотою близько 2 Гц [1, 2].

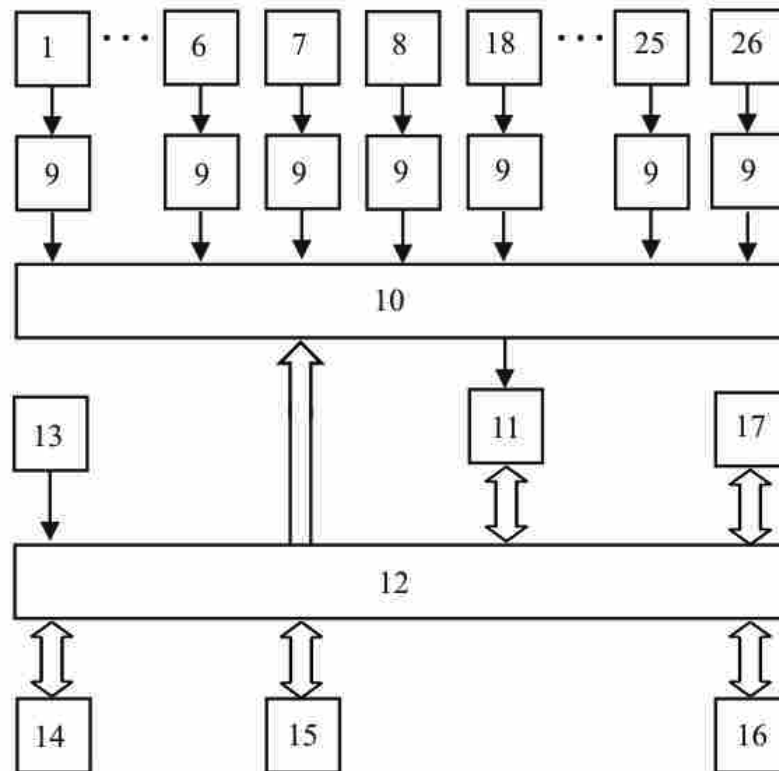


Рисунок 1 – Блок-схема електронного пристрою контролю процесів енергообміну в екіпажі й автоматичного відстроювання від конструкційних резонансів: 1 – 6 – датчики Холла контролю струму ТЕД; 7 – датчик Холла контролю струму головного генератора; 8 – оптронний датчик напруги головного генератора; 9 – нормуючі перетворювачі; 10 – аналоговий комутатор; 11 – АЦП; 12 – мікроконтролер; 13 – датчик Холла числа оборотів колеса; 14 – ЕОМ; 15 – флеш-пам'ять; 16 – блок керування жорсткістю гасителів коливань; 17 – блок набору і скидання позицій контролера; 18 – 25 – акселерометри; 26 – тензодатчик

Достоїнством розробленого пристрою є можливість відстроювання від конструкційних резонансів, що супроводжуються обміном енергії коливань між механічною й електричною частинами екіпажа, одночасно, шляхом як зміни характеристик гасителів коливань, так і характеристик електричної передачі. Для цього потрібно застосування на рухомому складі гасителів коливань з електронним регулюванням жорсткості, наприклад, на основі магнітної рідини, або електронного дроселя для керування характеристикою

гідравлічного або механічного гасителя коливань. Потрібна заміна механічного контролера машиніста на електронний, наприклад, на основі тиристорів або контакторів. Зазначені рішення вимагають внесення змін у конструкцію тепловоза або електровоза. У ручному режимі відстроювання від резонансу електронний пристрій, завдяки застосуванню безконтактних датчиків Холла, без внесення змін у конструкцію екіпажа може видавати повідомлення машиністові про початок режиму, що супроводжується конструкційними резонансами, і алгоритм відстроювання від нього за допомогою контролера машиніста.

Ще одним способом відстроювання від конструкційних резонансів, що супроводжуються обміном енергії коливань між механічною й електричною частинами екіпажа, дослідженим авторами, є короткочасне відключення одного з трьох ТЕД візка при виникненні конструкційного резонансу. При цьому при наборі швидкості відбувається зміна тягової характеристики тепловоза в пасажирському русі, коли не потрібна максимальна тяга, що дозволяє здійснити відстроювання від резонансу. Тимчасове відключення одного з ТЕД візка може здійснюватися автоматично за допомогою контактора. При виборі ТЕД, який буде короткочасно відключений при виникненні конструкційного резонансу, що супроводжується коливаннями потужності електромеханічної передачі, варто враховувати завантаженість колісної пари. Наприклад, для 2ТЕ116 варто відключати перший ТЕД першого візка.

Авторами відзначено невдалий безпосередній зв'язок між головним генератором і ТЕД у тепловозах серії 2ТЕ116, виправданий простотою електричної частини. Головним недоліком такого зв'язку є вплив навантаження на частоту обертання якоря головного генератора через відсутність запасу за потужністю. Таким чином, конструкційні резонанси механічної частини здатні через зміну навантаження на ТЕД впливати на частоту обертання якоря головного генератора. Для зменшення такого впливу можуть бути використані як механічні і гідравлічні, так і електричні накопичувачі енергії, що компенсують недолік потужності короткочасно (протягом половини періоду коливань) [3].

З урахуванням результатів досліджень були одержані аналітичні залежності, що встановлюють зв'язок між параметрами процесу енергообміну між механічною й електричною частинами тепловоза, які можуть бути використані з відповідними змінами для опису конструкційних резонансів електровозів, що одержують електричну

енергію від умовно необмеженого джерела енергії, на відміну від умов електроживлення ТЕД тепловозів.

Розглянемо вплив на нелінійні пружні елементи ресорного підвішування, що містять гасителі коливань із залежною від швидкості переміщень характеристикою, коливань візка з частотою ω_1 , обумовлених її вписуванням у колію, і коливань з частотою ω_2 , обумовлених перехідними і резонансними процесами в електричній передачі тепловоза. Такі коливання з частотами ω_1 і ω_2 будемо вважати гармонічними. Залежність $x(F)$ переміщень від сили апроксимуємо поліномом другого степеня

$$x = x_0 + \alpha F + \beta F^2, \quad (1)$$

де коефіцієнти ряду

$$\alpha = \left(\frac{dx}{dF} \right)_{F=F_0}, \quad \beta = \frac{1}{2!} \left(\frac{d^2x}{dF^2} \right)_{F=F_0} = \frac{1}{2!} \left(\frac{d\alpha}{dF} \right)_{F=F_0},$$

x_0 – переміщення, обумовлене статичною деформацією в ступіні ресорного підвішування; F_0 – статична сила, що визначає положення робочої точки на графіку залежності $x(F)$.

Швидкість руху підресореної маси

$$V(t) = \frac{dx(F)}{dt} = \frac{dx(F)}{dF} \cdot \frac{dF}{dt}. \quad (2)$$

Застосовуючи вираження (2) до ряду (1), одержимо швидкість руху підресореної маси:

$$V(t) = \alpha \cdot \frac{dF}{dt} + 2\beta \cdot F \cdot \frac{dF}{dt}. \quad (3)$$

Розглянемо вплив на ступінь ресорного підвішування у вигляді суми двох гармонічних сил:

$$F(t) = F_1(t) + F_2(t) = F_1 \sin(\omega_1 t + \varphi_1) + F_2 \sin(\omega_2 t + \varphi_2). \quad (4)$$

Після підстановки (4) у (3) і тригонометричних перетворень одержимо:

$$\begin{aligned} V(t) = & \alpha \omega_1 F_1 \cos(\omega_1 t + \varphi_1) + \alpha \omega_2 F_2 \cos(\omega_2 t + \varphi_2) + \\ & + \beta \omega_1 F_1^2 \sin 2(\omega_1 t + \varphi_1) + \beta \omega_2 F_2^2 \sin 2(\omega_2 t + \varphi_2) + \\ & + \beta(\omega_2 + \omega_1) F_1 F_2 \sin[(\omega_2 + \omega_1)t + (\varphi_2 + \varphi_1)] - \\ & - \beta(\omega_2 - \omega_1) F_1 F_2 \sin[(\omega_2 - \omega_1)t + (\varphi_2 - \varphi_1)] \end{aligned} \quad (5)$$

Два перші доданки в (5) відповідають швидкостям руху підресореної маси на частотах ω_1 і ω_2 , що мають місце при лінійності характеристики ресорного підвішування; інші доданки є гармоніками з частотами $2\omega_1$ і $2\omega_2$, а також комбінаційними коливаннями з частотами $\omega_1 + \omega_2$ і $\omega_2 - \omega_1$, що є результатом взаємодії двох гармонічних коливань у квадратичній нелінійності. Два перші доданки зрушені по фазі на $\pi/2$ відносно відповідних сил $F_1(t)$ і $F_2(t)$ і тому не створюють для джерел коливань витрат енергії (без урахування фрикційних втрат).

При розрахунках швидкості руху підресореної маси з частотами $\omega_1 + \omega_2$ можна також не враховувати, тому що середня потужність, яка відбирається від джерел коливань з частотами ω_1 і ω_2 , при здійсненні коливань підресореної маси з частотою $\omega_1 + \omega_2$ близька до нуля. Співвідношення частот ω_1 і ω_2 , а також фаз φ_1 і φ_2 будуть визначати потужність, передану від джерел коливань підресореній масі, на частотах $2\omega_1$, $2\omega_2$, $\omega_2 - \omega_1$. Якщо частоти ω_1 і ω_2 знаходяться в кратному співвідношенні, що збігається зі степенем апроксимуючого полінома, тобто з порядком нелінійності ступіні ресорного підвішування, то при визначеному співвідношенні фаз φ_1 і φ_2 швидкості переміщення підресореної маси можуть виявитися у фазі з діючими силами $F_1(t)$ і $F_2(t)$. Комбінаційні частоти збігаються з частотами діючої сили при виконанні умов:

$$\omega_2 = n\omega_1 \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (6)$$

Швидкості руху підресореної маси з частотами ω_1 і ω_2 для випадку $\omega_2 = 2\omega_1$

$$\begin{aligned} V_1(t) &= \beta\omega_1 F_1^2 \sin 2(\omega_1 t + \varphi_1) = \beta\omega_1 F_1^2 \sin(\omega_2 t + 2\varphi_1); \\ V_2(t) &= -\beta(\omega_2 - \omega_1) F_1 F_2 \sin[(\omega_2 - \omega_1)t + (\varphi_2 - \varphi_1)] = \\ &= -\beta\omega_1 F_1 F_2 \sin[\omega_1 t + (\varphi_2 - \varphi_1)]. \end{aligned}$$

Оскільки швидкість $V_2(t)$ зрушена за фазою відносно $F_2(t)$ на $(\varphi_2 - 2\varphi_1)$, то середня потужність, передана від джерела коливань – електричної передачі тепловоза – підресореній масі, у розглянутому випадку

$$P_2 = \frac{1}{2} \beta \omega_1 F_1^2 F_2 \cos(\varphi_2 - 2\varphi_1)$$

Потужність, передана підресореній масі, що здійснює коливання, від джерела коливань – візка – при її вписуванні в колою з частотою ω_1 при зрушенні фаз ($2\varphi_1 - \varphi_2$)

$$P_1 = -\frac{1}{2}\beta\omega_1 F_1^2 F_2 \cos(2\varphi_1 - \varphi_2)$$

Таким чином, при будь-яких початкових фазах коливань φ_1 і φ_2 при невеликих втратах у ступіні ресорного підвищування виконується умова $P_1 + P_2 = 0$.

У випадку якщо $\varphi_2 - 2\varphi_1 = 0$ передані підресореній масі потужності мають різні знаки, причому $P_2 > 0$, а $P_1 < 0$. Це означає, що джерело коливань з частотою ω_1 не віддає потужність, а споживає її від джерела коливань з частотою ω_2 .

Для середніх за період абсолютних значень швидкості руху підресореної маси

$$V_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}\beta(\omega_2 - \omega_1)F_1F_2$$

співвідношення потужностей запишемо у виді:

$$\frac{P_1}{\omega_1} = -\frac{P_2}{\omega_2} = -\frac{P_3 \cos(\varphi_2 - 2\varphi_1)}{2f(V_2) \cdot \beta(\omega_2 - \omega_1)^2 F_2},$$

де

$$f(V_2) = a_0 \frac{1 + a_1 \cdot V_2}{1 + a_2 \cdot V_2},$$

де a_0 , a_1 , a_2 – коефіцієнти, що залежать від матеріалу фрикційних гасителів.

При виконанні умови (6)

$$P_1 = -\frac{P_2}{n} = -\frac{P_3 \cos(\varphi_2 - 2\varphi_1) \left[1 - \frac{a_2}{\sqrt{2}}\beta\omega_1(n-1)F_1F_2 \right]}{\beta \cdot F_2 \omega_1^2 (n-1)^2 a_0 \left[1 - \frac{a_1}{\sqrt{2}}\beta\omega_1(n-1)F_1F_2 \right]}.$$

Результати математичного моделювання підтвердили можливість перекачування енергії коливань від електричної передачі до візка і потужності коливань візка до електричної передачі, що доведено експериментально за допомогою розглянутого електронного пристрою.

Висновки:

1. Конструкційні резонанси тепловозів серії 2ТЕ116, що виявляються в пасажирському русі, приводять до руйнівного впливу на екіпаж і колію. Проходження або робота екіпажа в умовах конструкційних резонансів супроводжується процесами енергообміну між періодичними коливаннями в механічній частині й в електромеханічній передачі тепловоза.

2. Розроблений електронний пристрій для контролю за умовами виникнення процесів енергообміну й активного відстроювання від конструкційних резонансів може бути використаний на рухомому складі з метою підвищення динамічних характеристик тепловозів і електровозів у розглянутих режимах руху.

3. Отримана математична модель процесу енергообміну між механічною коливальною системою й електромеханічною передачею є адекватною і може бути застосована при проектуванні тягового рухомого складу, позбавленого розглянутих недоліків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Влияние циклического резонанса на динамические и технико-экономические показатели локомотивов / В.А. Левандовский, В.А. Войтенко, В.П. Степанова, В.И. Нестеренко // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – №5(123). – Ч.1. – 2008. – С. 95-104.

2. Комплекс для зниження аварійності поїзда на основі віброакустоемісійного та ультразвукового контролю технічного стану екіпажної частини / С.О. Сметанін, В.П. Войтенко, Г.О. Войтенко, В.О. Левандовський // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – №11(129). – 2008. – С. 43-45.

3. Войтенко В.П. Підвищення якості перехідних процесів електромеханічних передач тепловозів шляхом автоматичної компенсації коливань потужності за допомогою накопичувачів енергії / В.П. Войтенко // Вісник Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – Луганськ: вид-во Східноукр. нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2008. – №8(126). – Ч.2. – С. 184-189.