



СГЛАЖИВАНИЕ НАГРУЗКИ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА

Рассматривается возможность оснащения маневрового тепловоза инертно-емкостным накопителем энергии, что позволит сгладить нагрузку на силовую установку и за счет этого снизить ее мощность и массогабариты. Относительно частая смена режима работы маневрового тепловоза обуславливает эффективность и целесообразность оснащения его накопителем энергии. Помимо сглаживания нагрузки на силовую установку накопитель позволит рекуперировать энергию при торможении, за счет чего возрастет энергоэффективность маневрового тепловоза. Представлены теоретические предпосылки создания инертно-емкостного накопителя энергии, который технически выполнен в виде машины постоянного тока с супермаховиком.

Маневровый тепловоз, накопитель, супермаховик, силовая установка, энергоэффективность.

Мощность силовой установки маневрового тепловоза определяется его пиковой нагрузкой, которой в первую очередь является трогание поезда с места. Очевидно, что большую часть времени силовая установка работает в недогруженном режиме. Использование накопителя энергии позволит сгладить нагрузку на силовую установку и за счет этого снизить ее мощность и массогабариты. Относительно частая смена режима работы маневрового тепловоза обуславливает эффективность и целесообразность оснащения его накопителем энергии.

Помимо сглаживания нагрузки на силовую установку накопитель позволит рекуперировать энергию при торможении, за счет чего возрастет энергоэффективность маневрового тепловоза.

Теоретические предпосылки создания инертно-емкостного накопителя энергии. В качестве такого накопителя можно рассматривать машину постоянного тока с супермаховиком.

Подача на якорную обмотку постоянного напряжения U инициирует следующие механический [1–6] и электрический [7–10] процессы:

$$\begin{cases} J \frac{d^2\varphi}{dt^2} + k \frac{d\varphi}{dt} = B2lw \frac{D}{2} i, \\ B2lw \frac{D}{2} \frac{d\varphi}{dt} + Ri = U \end{cases}$$

где J – суммарный момент инерции; k – коэффициент трения; B – магнитная индукция; $2l$ – активная длина проводника; w – количество витков; D – эффективный диаметр ротора; R – электрическое сопротивление.

Можно ввести параметрический коэффициент

$$B2lwD = Y. \quad (1)$$

Пусть начальные условия

$$\begin{aligned} \varphi(0) &= \varphi_0, \\ \frac{d\varphi}{dt}(0) &= \omega_0. \end{aligned} \quad (2)$$

Из уравнения электрического равновесия следует

$$\frac{d\varphi}{dt} = -\frac{R}{Y}i + \frac{U}{Y}, \quad (3)$$

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = -\frac{R}{Y} \frac{di}{dt}.$$

Подстановка в первое уравнение системы дает

$$-\frac{JR}{Y} \frac{di}{dt} - \frac{kR}{Y}i + \frac{kU}{Y} = Yi,$$

$$\frac{di}{dt} + \left(\frac{Y^2}{JR} + \frac{k}{J} \right) i = \frac{kU}{JR}.$$

Пусть

$$\frac{Y^2}{JR} + \frac{k}{J} = A,$$

$$\frac{kU}{JR} = B.$$

Тогда

$$\frac{di}{dt} + Ai = B. \quad (4)$$

Общим решением является

$$i_1 = C_1 e^{-At}.$$

Частным –

$$i_2 = C_2.$$

Подстановка его в формулу (4) дает

$$0 + AC_2 = B,$$

$$C_2 = \frac{B}{A}.$$

Искомый ток равен

$$i = i_1 + i_2 = C_1 e^{-At} + \frac{B}{A}. \quad (5)$$

С учетом (2) и (3)

$$i(0) = \frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R}.$$

С учетом (5)

$$\begin{aligned} C_1 &= \frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R} - \frac{B}{A}, \\ i &= \left(\frac{U}{R} - \frac{Y\omega_0}{R} - \frac{B}{A} \right) e^{-At} + \frac{B}{A}. \end{aligned}$$

$$i = \left(\frac{U - Y\omega_0}{R} - \frac{U}{Y^2/k + R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{U}{Y^2/k + R} = \left(\frac{U - E_0}{R} - \frac{U}{R_k + R} \right) e^{-t/\tau} + \frac{U}{R_k + R}, \quad (6)$$

где $E_0 = Y\omega_0$.

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau} &= \frac{1}{R} \frac{1}{J/Y^2} + \frac{1}{J/k} = \\ &= \frac{1}{R} \frac{1}{J/Y^2} + \frac{1}{(J/Y^2)(Y^2/k)} = \\ &= \frac{1}{RC_J} + \frac{1}{R_k C_J} = \frac{1}{\tau_e} + \frac{1}{\tau_m}. \end{aligned} \quad (7)$$

При $k=0$ $R_k = \infty$ и

$$i = \frac{U - E_0}{R} e^{-t/\tau}, \quad (8)$$

$$\tau = \frac{RJ}{Y^2} = RC_J. \quad (9)$$

Формулы (8) и (9) неотличимы от формул, описывающих заряд конденсатора.

При замыкании накоротко клемм якорной обмотки

$$i = \frac{-E_0}{R} e^{-t/\tau}.$$

Эта формула неотличима от формулы, описывающей разряд конденсатора.

Выражения (6)–(9) свидетельствуют о емкостном характере рассматриваемого накопителя мощности.

Емкость накопителя равна

$$C_J = \frac{J}{Y^2}.$$

Электромеханическое сопротивление

$$R_k = \frac{Y^2}{k}.$$

Запасаемая накопителем энергия равна

$$W = \frac{C_J U^2}{2} = \frac{JU^2}{2Y^2} = \frac{J\omega^2}{2}.$$

На рис. 1 изображена электрическая схема инертно-емкостного накопителя, на рис. 2 – характер тока при его зарядке и разрядке.

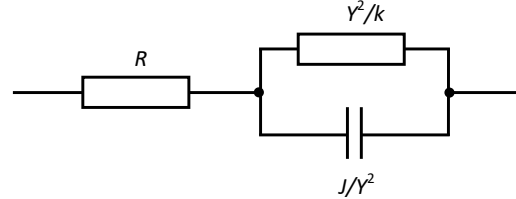


Рис. 1. Электрическая схема инертно-емкостного накопителя

Заключение. В настоящее время созданы высокоэффективные супермаховики, и даже рассматривается возможность применения их на автомобилях. Очевидно, что использование маховиков на маневровых тепловозах значительно менее проблематично в силу существенно менее жестких требований к общему весу. Еще более выгодным преимуществом тепловоза является наличие электромеханической трансмиссии, что минимизирует разработку для него рассмотренного инертно-емкостного накопителя.

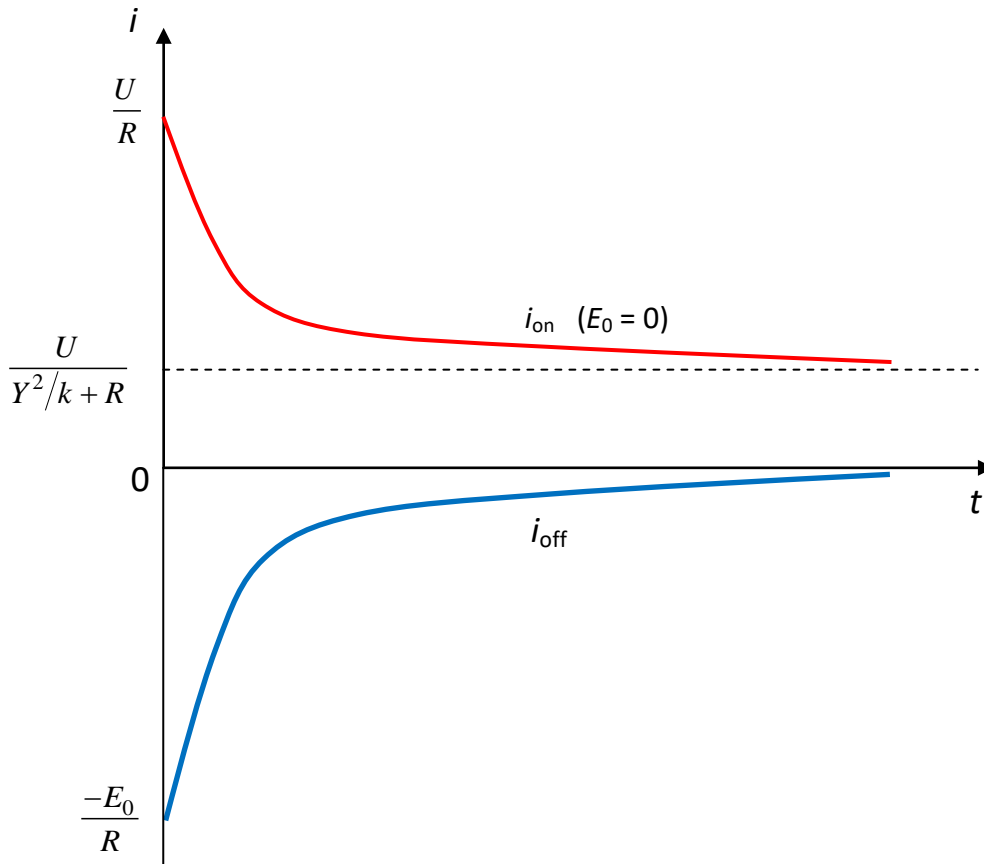


Рис. 2. Характер тока при зарядке и разрядке инертно-емкостного накопителя

Литература

1. Попов, И. П. Самобалансировка вибрационных механизмов / И. П. Попов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2018. – № 2 (2). – С. 16–19.
2. Popov, I. P. Synthesis inert-inertial oscillator / I. P. Popov // Applied mathematics and control sciences. – 2017. – № 1. – P. 7–13.
3. Popov, I. P. Modeling tree-inert oscillator / I. P. Popov // Applied mathematics and control sciences. – 2018. – № 4. – P. 73–79.
4. Попов, И. П. Моделирование биинертного осциллятора / И. П. Попов // Приложение математики в экономических и технических исследованиях: сб. науч. тр. / под общ. ред. В. С. Мхитаряна. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2017. – С. 188–192.
5. Попов, И. П. Искусственные масса и упругость / И. П. Попов // Вестник Тверского государственного технического университета. – 2016. – № 1 (29). – С. 7–11.
6. Energy efficiency assessment of sieve separation gear kinematic diagram / I. P. Popov, V. G. Chumakov, S. S. Rodionov, L. Ja. Chumakova, S. I. Rodionova // British journal of innovation in science and technology. – 2017. – Vol. 2, № 3. – P. 5–11.
7. Попов, И. П. Спонтанные упруго-емкостные колебания в системах автоматики / И. П. Попов // Вестник Морского государственного университета им. адмирала Г. И. Невельского. Серия: Автоматическое управление, математическое моделирование и информационные технологии. – 2017. – Вып. 78. – С. 93–96.
8. Попов, И. П. Комбинированные векторы и магнитный заряд / И. П. Попов // Прикладная физика и математика. – 2018. – № 6. – С. 12–20.
9. Попов, И. П. Емкостно-инертное устройство / И. П. Попов // Известия Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ». – 2015. – Т. 2. – С. 43–45.
10. Попов, И. П. Четыре теоремы для синхронных машин с реактивной нагрузкой / И. П. Попов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Серия: Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 28. – С. 169–178.

I.P. Popov
Kurgan State University

LOAD LEVELING OF DIESEL SHUNTING LOCOMOTIVE

The possibility of equipping a shunting diesel locomotive with an inert-capacitive energy storage device is being considered; it will allow to level load on the power plant and thereby to reduce its power and mass and dimensions. The relatively frequent change in the operating mode of a shunting locomotive determines the efficiency and feasibility of equipping it with an energy storage device. In addition to leveling of the load on the power plant, the drive will allow energy to be recovered during braking, thereby increasing the energy efficiency of the diesel locomotive. The theoretical background for creating an inert-capacitive energy storage device, which is technically designed as a DC machine with a super flywheel, is presented.

Shunting diesel locomotive, drive, super-flywheel, power plant, energy efficiency..