

УДК 621.335:538.312:62-52

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОДВЕСА

*Н. Г. Попович, В. А. Гаврилюк, В. И. Теряев,
А. П. Редько, В. Д. Авримский*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ описание электромагнита системы электромагнитного подвеса высокоскоростного наземного транспорта (ВСНТ) выполнялось рядом авторов [1, 2]. В этих работах для описания динамики электромагнита использованы линеаризованные зависимости силы тяги от магнитного потока и магнитного сопротивления от величины рабочего зазора.

В данной статье описана динамика электромагнита подвеса при нелинейных зависимостях силы тяги и магнитного сопротивления соответственно от магнитного потока и рабочего зазора с учетом потоков рассеяния и выпучивания, кривых намагничивания элементов магнитопровода, инерционного запаздывания магнитного потока за счет вихревых токов.

В основу положена схема замещения магнитной цепи П-образного электромагнита, представленная на рис. 1. Здесь Φ_{Σ} , Φ_{Π} , Φ_{p-c} , Φ_p , Φ_{δ} , Φ_T — соответственно суммарный магнитный поток, магнитные потоки полюса, рассеяния спинки, рассеяния между полюсами, поток в зазоре и поток из торца полюса; R_c , R_{p-c} , R_{Π} , R_p , R_{δ} , R_{Σ} — магнитные сопротивления, соответственно, спинки, рассеяния спинки, полюсов, рассеяния между полюсами, воздушного зазора и якоря; $I\omega$ — намагничивающая сила обмотки. Технологические зазоры между отдельными элементами магнитопровода при моделировании учитывались путем введения поправочных коэффициентов.

В соответствии со схемой замещения была составлена система уравнений в операторной форме, описывающих динамику электромагнита с учетом указанных выше нелинейностей:

$$U = Ir + E; \quad 2U_{\delta} + U_{\Sigma} = I\omega - U_c - 2U_{\Pi}; \quad E = \omega \Phi_{\Sigma} p; \quad U_{\Sigma} = \Phi_{\delta} R_{\Sigma} (T_{\Sigma} p + 1); \quad U_c = f_1(\Phi_{\Sigma});$$

$$\Phi_{\delta} = 2U_{\delta} / 2R_{\delta} = U_{\delta} / R_{\delta}; \quad \Phi_{\Sigma} = \Phi_{\Pi} + \Phi_{p-c}; \quad R_{\delta} = \delta / \sigma_{в.п} \mu_0 S_T; \quad \Phi_{p-c} = (I\omega - U_c) / R_{p-c};$$

$$\delta = -(F_{эм} - F_{\Pi}) / mp^2; \quad \Phi_{\Pi} = \Phi_{\delta} + \Phi_p; \quad F_{эм} = \Phi_{\Sigma}^2 / \mu_0 S_T; \quad \Phi_p = (2U_{\delta} + U_{\Sigma}) / R_p; \quad \Phi_T = \Phi_{\delta} / \sigma_{в.п}$$

$$U_{\Pi} = f_2(\Phi_{\Pi});$$

Здесь U — напряжение на обмотке электромагнита; I — ток в обмотке; E — ЭДС; r — сопротивление; ω — число витков обмотки; U_c , U_{δ} , U_{Σ} , U_{Π} — магнитные напряжения соответственно спинки, зазора, якоря и полюсов электромагнита; T_{Σ} — электромагнитная постоянная времени нешихтованного якоря; $f_1(\Phi_{\Sigma})$ и $f_2(\Phi_{\Pi})$ — нелинейные зависимости, учитывающие кривые намагничивания и изменение поперечного сечения спинки и полюсов магнитопровода; z — координата электромагнита; $\sigma_{в.п}$ — коэффициент выпучивания магнитного потока; μ_0 — абсолютная магнитная проницаемость вакуума; S_T — площадь торца полюса; $F_{эм}$ — сила тяги электромагнита; F_{Π} — сила, противодействующая магнитному подвесу; m — масса подвижной части магнитного подвеса.

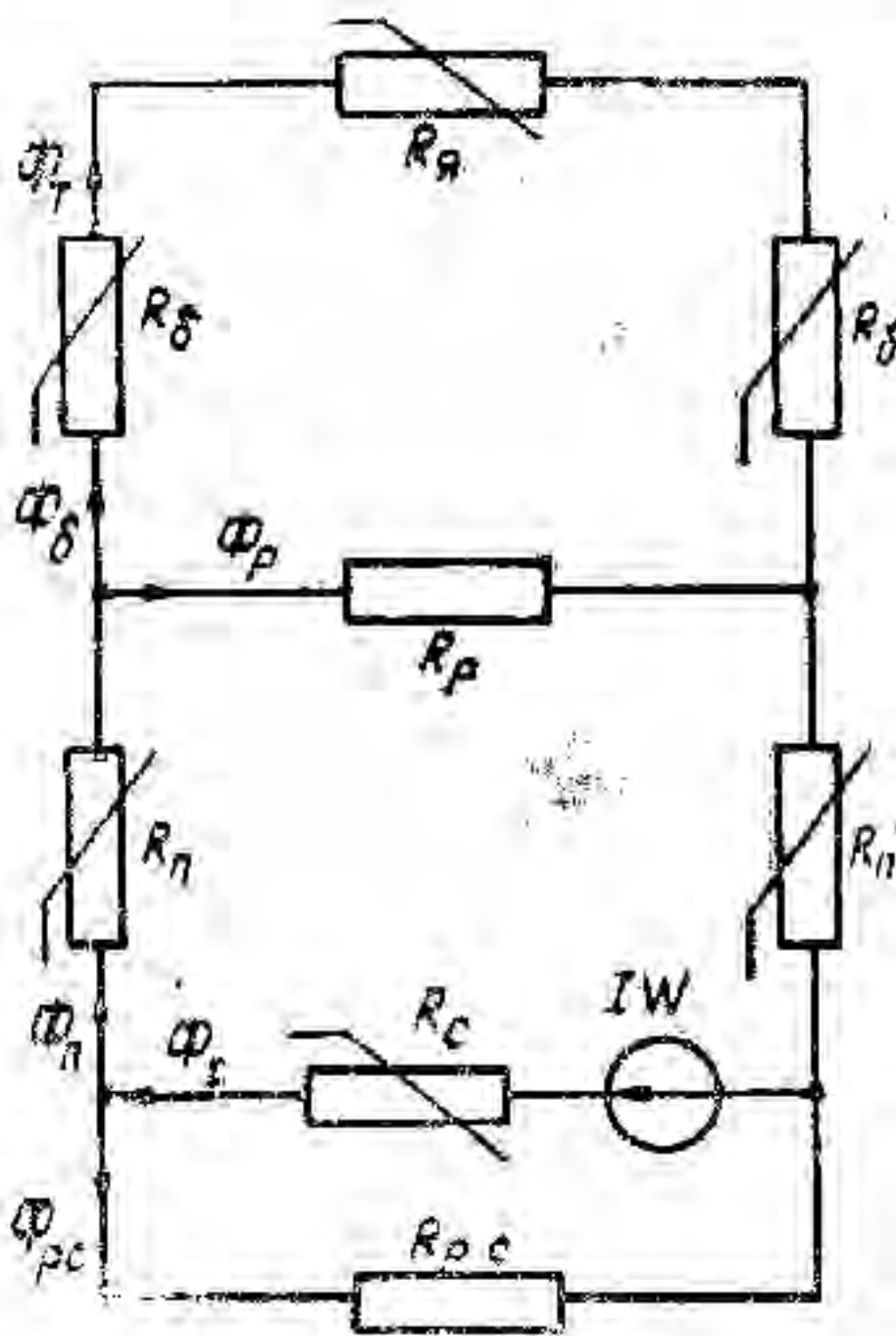


Рис. 1

В результате экспериментальных исследований натурального электромагнита подвеса, предназначенного для экипажа ВСНГ массой 40 т, установлено, что величина потоков выпучивания в рабочем диапазоне зазоров (10 ... 30 мм) практически не зависит от величины воздушного зазора. Это позволило учесть выпучивание магнитного потока в виде постоянной составляющей потока в зазоре.

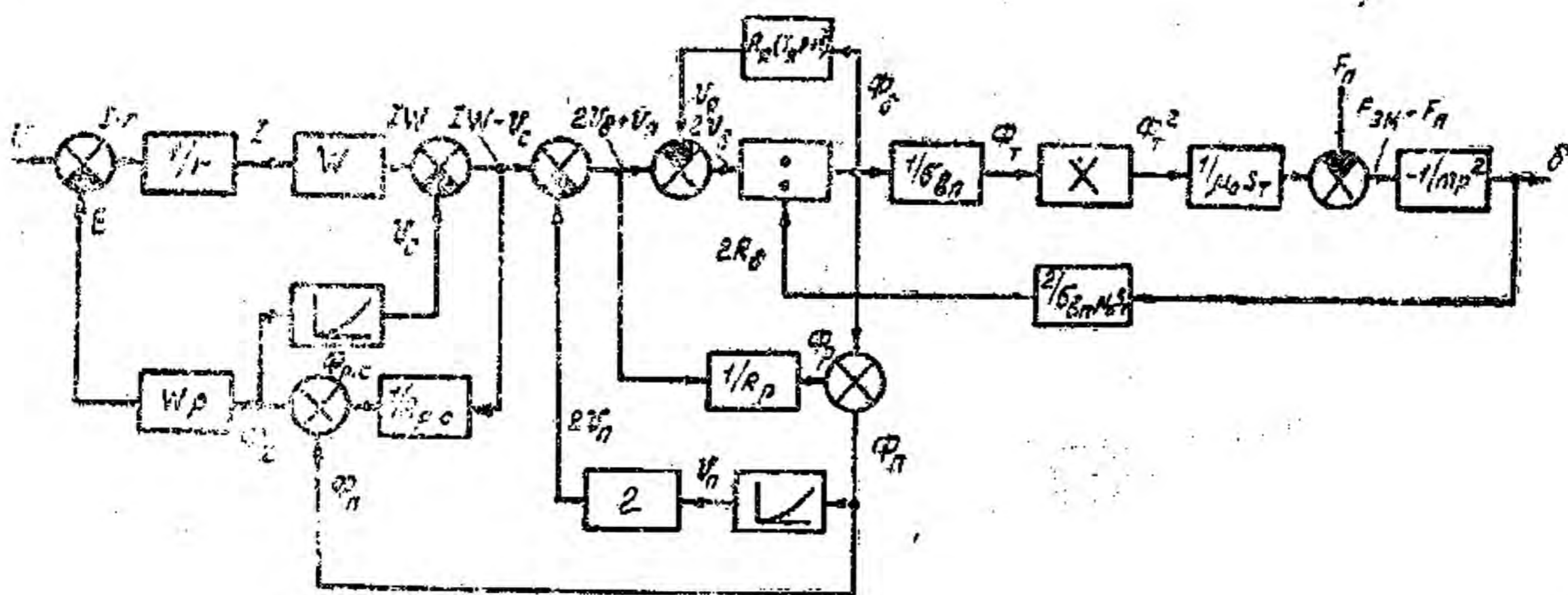


Рис. 2

На основании системы уравнений составлена структурная схема электромагнита (рис. 2), а по ней—схема набора на АВМ. Сравнение силовых характеристик электромагнита, полученных с помощью АВМ для различных фиксированных зазоров с характеристиками, рассчитанными аналитически и снятыми экспериментально, показывает достаточно близкое их совпадение. Лишь при малых зазорах (менее 10 мм) наблюдалось расхождение указанных характеристик более 15%.

Наличие в структуре в явном виде всех элементов электромагнита (линейных и нелинейных) позволяет, легко варьируя параметрами (конфигурацией, геометрическими размерами, выбором электротехнических материалов), осуществить синтез электромагнита по заданным показателям качества с учетом требований систем питания и управления электромагнитным подвесом.

Для проведения исследований электромагнита в замкнутой системе автоматического регулирования зазора модель была дополнена контурами регулирования тока обмотки и зазора электромагнита. Предложенная модель позволяет достаточно легко исследовать и другие варианты структурной реализации систем электромагнитного подвешивания (рассмотреть контуры регулирования магнитного потока, силы тяги, учесть упругую подвеску электромагнитов и оценить влияние вихревых токов на динамику подвеса).

ЛИТЕРАТУРА

1. Теряев В. И. Система автоматического регулирования положения транспортного экипажа при магнитном подвешивании, — Реф. информ. о науч.-исслед. работах в вузах УССР. — Электротехника. 1978, вып. 10.
2. Sakae Yamamura, Performance analysis of electromagnetically levitated vehicle. WELC, section 7, paper 09, M., 1977.

Рукопись поступила
первоначально 28. 05. 82,
после доработки 19. 10. 82

УДК 681.51.015

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОРДИНАТ ИМПУЛЬСНОЙ ПЕРЕХОДНОЙ ФУНКЦИИ ОБЪЕКТА

В. Ф. Яковлев

В ПОСЛЕДНЕЕ время возрос интерес к активной идентификации реальных динамических объектов, предполагающей подачу на вход объекта специального тест-сигнала. Для систем, допускающих представление в виде

$$y[t] = h_0 + \sum_{j=0}^{N-1} h[j]x[t-j].$$