

СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЫЧАЖНЫХ ЗВЕНЬЕВ ТЯГОВЫХ УСТРОЙСТВ

В. И. Вдовиченко

Тяговые устройства с автоматическим регулированием силы прижатия тяговых колес к рельсу в зависимости от сопротивления движению рассмотрены в работах В. С. Берсенева* [1].

Поскольку конечная цель применения указанных тяговых устройств — создание условий для реализации силы тяги в режиме упругого скольжения независимо от силы сопротивления движению, то система регулирования, реализующая эти условия, является системой стабилизации сцепления.

Системы стабилизации сцепления, применяемые в существующих конструкциях тяговых устройств, построены на механических рычажных и стержневых элементах и по своей структуре являются механизмами, выполняющими функции регулирования.

В теории автоматического регулирования различают принципы регулирования по отклонению регулируемой величины и по возмущению [2, 3]. Последние называются инвариантными системами регулирования.

Системы стабилизации рассматриваемых тяговых устройств относятся к инвариантным системам прямого регулирования и переносят свойство инвариантности на устройство в целом. Это значит, что заданный режим сцепления тяговых колес не нарушается вследствие воздействия главного возмущающего фактора — сопротивления движению тягового устройства.

* См. настоящий сборник, В. С. Берснев. О развитии самоходных рельсовых транспортных устройств с гладкими приводными колесами.

Независимость сцепления от нагрузки в тяговом устройстве с инвариантной системой регулирования не является абсолютной, так как, помимо основного воздействия — возмущающего, на него могут действовать и другие второстепенного значения, возникающие как вне так и внутри устройства. К внутренним возмущающим воздействиям, нарушающим условия инвариантности, относятся возможные изменения параметров системы стабилизации, зависящие от правильного выбора типа элементов системы, способов их соединения и способов ввода входных величин.

Для выбора рычажных элементов с учетом перечисленных факторов требуется знать их характеристики. Задача рычажного элемента — передача и трансформация по величине и направлению усилий, поступающих на его вход. Поэтому его основной характеристикой является функция, характеризующая потенциальные (обусловленные геометрией рычага) трансформирующие свойства рычажного элемента, т. е. поведение элемента при статическом приложении входных величин.

На рис. 1 r и r_1 — малое и большое плечи рычага. Отношение r_1/r может изменяться в интервале $[0, \infty)$. γ_1 и γ_2 — углы приложения входных и выходных усилий. φ — угол, определяющий положение рычага в системе отсчета. β — угол, определяющий относительное расположение плеч рычага. Все перечисленные углы могут изменяться в интервале $[0, 2\pi]$. Положительное направление отсчета углов показано стрелками.

Из уравнения статики

$$\Sigma M_0 = P_{\text{вх}} r_1 \sin(\varphi + \beta - \gamma_1) - P_{\text{вых}} r \sin(\gamma_2 - \varphi) - R_2 r \sin \varphi = 0. \quad (1)$$

находим искомую функцию

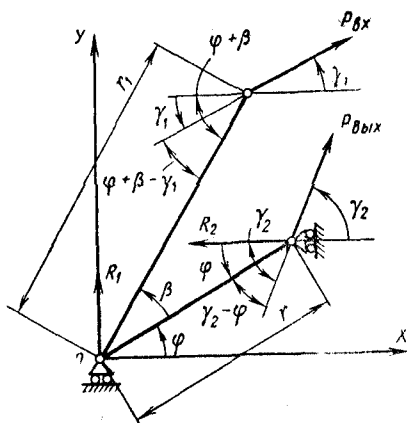


Рис. 1. Схема рычажного элемента общего вида

$$i = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = \frac{r_1}{r} \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta - \gamma_1)}{\sin(\gamma_2 - \varphi)} - \frac{R_2}{P_{\text{вх}}} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin(\gamma_2 - \varphi)}, \quad (2)$$

которая является универсальной характеристикой любых типов рычажных и стержневых элементов, применяемых в тяговых устройствах. Другими словами, полученная функция является инвариантом подобия рычажных элементов.

В существующих тяговых устройствах с инвариантной системой регулирования нашли применение три разновидности элементов системы стабилизации сцепления: угловой рычаг, прямой рычаг и стержень. Покажем справедливость формулы (2) для всех перечисленных случаев.

Угловым рычагом в широком смысле назовем рычаг любой формы, если направления входного и выходного усилий в нем составляют прямой угол. Характеристика углового рычага получается подстановкой $\gamma_1 = 0$, $\gamma_2 = \frac{\pi}{2}$ и $R_2 = P_{\text{вх}}$ (это следует из уравнения статики $\Sigma X = 0$ при тех же значениях γ_1 и γ_2) в выражение (2)

$$i_{\text{уп}} = \frac{r_1}{r} \cdot \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \varphi} - \text{tg } \varphi. \quad (3)$$

Для случая, когда $\beta = -\frac{\pi}{2}$, функция имеет вид

$$i_{\text{уп}} = \frac{r_1}{r} - \text{tg } \varphi. \quad (4)$$

Откуда следует, что с ростом φ (в сторону положительных значений) функция убывает и наоборот, с уменьшением возрастает.

С точки зрения практики большой интерес представляют рычажные элементы с $i = \text{const}$. Для выяснения вопроса о возможности существования таких угловых рычагов продифференцируем уравнение (3) и приравняем к нулю

$$\frac{di}{d\varphi} = \frac{\frac{r_1}{r} \cos \beta - 1}{\cos^2 \varphi} = 0.$$

Откуда

$$\beta = \arccos \frac{r}{r_1}, \quad (5)$$

т. е. каждому соотношению r/r_1 отвечает единственная форма рычага с $i = \text{const}$. На рис. 2 зависимость (3) представлена графически при отношении $r_1/r = 4$, причем участки кривых заменены хордами, что не нарушает общего представления о картине. Характеристика построена для изменения аргументов φ и β соответственно в интервалах $[-\frac{\pi}{3}, -\frac{\pi}{3}]$, $[0, 2\pi]$.

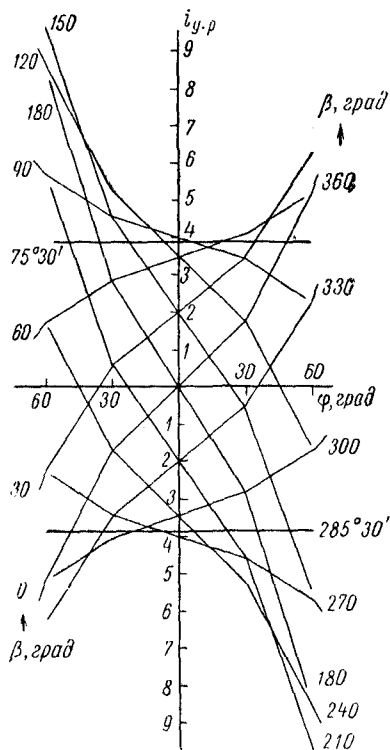


Рис. 2. Статическая характеристика углового рычага

Вблизи точек $\varphi = \pm \frac{\pi}{2}$ функция имеет бесконечные разрывы. Эти участки не показаны, так как не имеют практического значения.

Прямой рычаг — это рычаг произвольной формы, входное и выходное усилие которого параллельны. При $\gamma_2 = \frac{\pi}{2}$, $\gamma_1 = \frac{3\pi}{2}$

из уравнения статики $\Sigma X=0$ следует $R_2=0$. Подставив эти величины в уравнение (2), получим

$$i_{н.р} = -\frac{r_1}{r} \cdot \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \varphi}. \quad (6)$$

Знак «минус» перед $i_{н.р}$ означает, что входное и выходное усилия направлены в противоположные стороны.

Способом, примененным ранее, находим, что рычаг имеет $i_{н.р} = \text{const}$ при $\beta=0$ или $\beta=\pi$.

Стержень. Полагая в формуле (2) $r_1=0$, $R_2=P_{вх}$, $\gamma_1=0$, $\gamma_2 = -\frac{\pi}{2}$, получим характеристику стержневого элемента

$$i_c = \text{tg } \varphi. \quad (7)$$

Универсальная характеристика (2) позволяет аналогично получить характеристики для других возможных частных случаев применения рычажных и стержневых элементов в цепях стабилизации сцепления тяговых устройств с инвариантной системой регулирования прижатия колес к рельсу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берсенев В. С. Тяговые устройства с автоматическим регулированием давления приводных колес на фреельс. Зап. ЛГИ, т. XXXIX, вып. 1, 1959.
2. Попов Е. П. Автоматическое регулирование и управление. Физматгиз, 1959.
3. Уланов Г. М. Регулирование по возмущению. Госэнергоиздат, 1960.