

К ВОПРОСУ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПУСКОВОГО ТОКА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ЗАБОЙНЫХ МАШИН И ТОКА КОРОТ- КОГО ЗАМЫКАНИЯ В УЧАСТКОВЫХ СЕТЯХ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Я. В. ПЕТРОВ

(Представлено научным семинаром горно-механического факультета ТПИ)

Как известно, при пуске относительно мощных электродвигателей забойных машин и механизмов в участковых сетях шахт возникают значительные потери напряжения. В результате этого пусковые токи уменьшаются, а токи нормально работающих потребителей, наоборот, увеличиваются при условии постоянства моментов статических сопротивлений.

Величины пусковых токов электродвигателей или вызываемые ими потери напряжения необходимо учитывать при расчете сетей участков шахт, при рассмотрении режимов работы относительно мощных электродвигателей, например, врубовых машин и комбайнов в реальных условиях, при выборе уставок максимальных токовых и тепловых реле автоматов и пускателей [1].

Однако до настоящего времени не существует простых и вместе с тем достаточно точных методов расчетного определения пусковых токов электродвигателей забойных машин и механизмов; благодаря этому расчеты, связанные с определением пускового тока или напряжения на зажимах пускаемого двигателя, отличаются, как правило, громоздкостью или значительной неточностью.

В известной нам литературе [2, 3, 4, 5] указаны следующие методы определения пусковых токов электродвигателей.

Согласно [2] пусковой ток электродвигателя $I_{пф}$ можно определить по формуле

$$I_{пф} = \frac{I_{пн}}{1 + \frac{I_{пн}(I_{нд} + I_{нт})}{20 I_{нд} \cdot I_{нт}}}$$

где: $I_{пн}$ — пусковой ток электродвигателя при номинальном напряжении на его зажимах в момент пуска;

$I_{нд}$ — номинальный ток двигателя;

$I_{нт}$ — номинальный вторичный ток трансформатора, к которому присоединен двигатель.

Данное выражение удобно для практических расчетов, но не является достаточно точным, так как не учитывает в должной мере параметры участковой сети. Здесь пусковой ток остается постоянным независимо от длины и сечения кабелей, а также величины нагрузки нормально работающих потребителей.

Обычно величина пускового тока электродвигателя находится по следующему простому выражению [3,4]

$$I_{n\phi} = I_{нн} \frac{U_n}{U_n},$$

где U_n — напряжение на зажимах пускаемого двигателя принимается по условию создания необходимого начального пускового момента ($U_n < U_n$);

U_n — номинальное напряжение электродвигателя.

Будучи принципиально правильным, указанное выражение не позволяет определить действительную величину пускового тока и пускового напряжения, так как и пусковой ток и пусковое напряжение зависят от параметров участковой сети, не учитываемых данным выражением. Пользуясь обычно принятой методикой проверки сети участка на пуск электродвигателя, путем последовательных приближений можно, конечно, найти действительные значения $I_{n\phi}$ и U_n , но чрезмерная кропотливость такой работы очевидна.

Определение пускового тока по методу результирующего сопротивления участковой сети при пуске рассматриваемого электродвигателя и нормальной работе остальных потребителей участка производится в общем случае следующим образом [4]

$$I_{n\phi} = \frac{U_{нт} - \Delta U_{тк}}{\sqrt{3}Z_{кд}},$$

где $U_{нт}$ — номинальное вторичное напряжение трансформатора;

$\Delta U_{тк}$ — потери напряжения в трансформаторе и кабелях, последовательно включенных между трансформатором и точкой сети, к которой присоединен кабель, питающий лишь пускаемый электродвигатель;

$Z_{кд}$ — геометрическая сумма сопротивлений кабеля электродвигателя и пускового сопротивления последнего.

Ввиду значительной кропотливости определения $\Delta U_{тк}$, особенно при наличии нагрузки нормально работающих потребителей, метод результирующего сопротивления, хотя и дает наиболее достоверные результаты, в существующем виде практически не применим.

Упрощенной разновидностью метода результирующего сопротивления является способ, при котором результирующее сопротивление сети находится путем скалярного сложения сопротивлений трансформатора Z_m , кабелей Z_k , последовательно включенных между трансформатором и пускаемым двигателем, и пускового сопротивления двигателя $Z_{нд}$. В этом случае [5]

$$I_{n\phi} = \frac{U_{нт}}{\sqrt{3}(Z_m + Z_k + Z_{нд})}.$$

Этот способ достаточно прост, однако уступает методу результирующего сопротивления в точности, так как производится сложение скалярных величин сопротивлений и влиянием нагрузки нормально работающих потребителей на величину $I_{n\phi}$ пренебрегают.

При некоторых допущениях представляется возможным упростить метод результирующего сопротивления, практически не снижая его точность, если воспользоваться понятием эквивалентной длины кабелей [5].

Пусковой ток электродвигателя можно определить следующим образом:

$$I_{n\phi} = \frac{U_{нт} - \Delta U_m}{\sqrt{3}Z_n}, \quad (1)$$

здесь

Z_n — сопротивление пусковой цепи¹⁾ (одной ее фазы) с учетом влияния на величину Z_n нагрузки нормально работающих потребителей;

ΔU_m — потеря напряжения в трансформаторе при протекании тока нормально работающих потребителей.

Потеря напряжения в трансформаторе легко может быть подсчитана по одной из известных формул, например,

$$\Delta U_m = \sqrt{3} I_n (r_m \cos \varphi_n + x_m \sin \varphi_n),$$

где I_n — полный ток нормально работающих потребителей, протекающий через трансформатор в момент пуска двигателя; принимается, что I_n не зависит от $I_{нф}$;

$\cos \varphi_n$ — коэффициент мощности нормально работающих потребителей;
 r_m и x_m — активное и индуктивное сопротивления трансформатора (табл. 2).

Наибольшие трудности возникают при определении сопротивления пусковой цепи.

Если к пусковой цепи не присоединена нагрузка нормально работающих потребителей, то, пренебрегая сопротивлением сети до трансформатора (системы), имеем

$$Z_n = \sqrt{(r_m + r_k + r_{нд})^2 + (x_m + x_k + x_{нд})^2}, \quad (2)$$

где r_k и x_k — активное и индуктивное сопротивления кабелей от трансформатора до пускаемого двигателя;

$r_{нд}$ и $x_{нд}$ — активное и индуктивное сопротивления двигателя при пуске.

Заменяя последовательно включенные между трансформатором и пускаемым двигателем кабели различного сечения кабелем одного сечения, например 50 мм², для r_k и x_k можно написать

$$\begin{aligned} r_k &= 0,0188 \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{s_i} = 0,0188 \left(\frac{l_1}{s_1} + \frac{l_2}{s_2} + \dots + \frac{l_n}{s_n} \right) = \\ &= 0,0188 \left(\frac{l_1}{50} K_{э1} + \frac{l_2}{50} K_{э2} + \dots + \frac{l_n}{50} K_{эn} \right) = \\ &= 0,0188 \cdot \frac{1}{50} l_{э}, \end{aligned}$$

$$x_k = \frac{0,07}{10^3} \sum_{i=1}^n l_i.$$

Здесь

$0,0188 \frac{\text{ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ — удельное сопротивление проводниковой меди при

температуре +20°C; $l_1, l_2, \dots, l_n, \text{м}$ и $S_1, S_2, \dots, S_n, \text{мм}^2$ — длина и сечение со-

¹⁾ Под пусковой цепью понимается цепь, составленная обмотками трансформатора, рабочими жилами кабелей, последовательно включенных между трансформатором и пускаемым двигателем, и обмотками пускаемого двигателя.

ответствующего кабеля; $K_{s1}, K_{s2}, \dots, K_{sn}$ — коэффициенты эквивалентности для соответствующих сечений кабеля; (значения коэффициентов приведены в табл. 1).

$l_s, м$ — длина кабеля сечением 50 мм^2 , эквивалентная суммарной длине кабелей различного сечения, проложенных между трансформатором и пускаемым двигателем; в общем случае

$$l_s = \sum_{i=1}^n l_i K_{si};$$

$\frac{0,07}{10^3} \text{ ом/м}$ — индуктивное сопротивление одного метра кабеля (прини-

мается одинаковым для всех сечений и типов низковольтных силовых кабелей, применяемых на участках шахт).

Таблица 1

Значения коэффициентов эквивалентности при приведении различных сечений кабеля к сечению 50 мм^2

$S, \text{ мм}^2$	K_s
6	8,20
10	4,85
16	3,08
25	1,98
35	1,42
50	1,0
70	0,73
95	0,55
120	0,45

Имея в виду относительно малую величину индуктивного сопротивления кабелей по сравнению с сопротивлением других элементов пусковой цепи, а также то, что среднее значение коэффициентов K_s для наиболее употребительных на участках шахт сечений кабелей приближается к 1 (табл. 1), допустимо выражение для X_K представить следующим образом:

$$X_K \approx \frac{0,07}{10^3} (l_1 \cdot K_{s1} + l_2 \cdot K_{s2} + \dots + l_n \cdot K_{sn}) = \frac{0,07}{10^3} l_s.$$

Коэффициенты мощности трансформаторов ТМШ при коротком замыкании и рудничных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором при пуске мало отличаются друг от друга. Поэтому с небольшой погрешностью можно заменить векторное сложение сопротивлений трансформатора и пускаемого двигателя скалярным, полагая, что коэффициенты мощности трансформатора и пускаемого двигателя одинаковы и равны коэффициенту мощности двигателя при пуске.

Тогда выражение (2), после простейших преобразований, может быть переписано так:

$$Z_n \approx \frac{1}{100} \sqrt{10^4 (Z_m + Z_{nd})^2 + (7,5 \cos \varphi_{nd} + 1,4 \sin \varphi_{nd}) \times \times (Z_m + Z_{nd}) l_s + 0,00147 l_s^2}. \quad (3)$$

Пусковой ток электродвигателя

$$I_{n\phi} = \frac{100 U_{nm}}{\sqrt{3} \sqrt{10^4 (Z_m + Z_{nd})^2 + (7,5 \cos \varphi_{nd} + 1,4 \sin \varphi_{nd}) (Z_m + Z_{nd}) l_s + 0,00147 l_s^2}} \quad (4)$$

Напряжение на зажимах электродвигателя в момент пуска

$$U_{пд} = \sqrt{3} I_{пф} \cdot Z_{пд} \quad (5)$$

В выражениях (3,4,5):

Z_m — полное сопротивление трансформатора, *ом* (табл. 2);

$$Z_{пд} = \frac{U_n}{\sqrt{3} I_{пн}} \text{ — пусковое сопротивление двигателя, } \textit{ом};$$

$\cos \varphi_{пд}$ — коэффициент мощности двигателя при пуске.

Необходимые при расчетах данные для наиболее часто встречающихся на практике трансформаторов и врубовых электродвигателей указаны в табл. 2,3. Сопротивления других трансформаторов или электродвигателей определяются по общеизвестным формулам.

Сопротивления силовых трансформаторов

Таблица 2

$S_{нт},$ <i>кВА</i>	$Z_m, \text{ом}$ при $U_{нт}, \text{в}$		$r_m, \text{ом}$ при $U_{нт}, \text{в}$		$x_m, \text{ом}$ при $U_{нт}, \text{в}$	
	400	420	400	420	400	420
50	0,176	0,194	0,085	0,093	0,154	0,170
75	0,114	0,129	0,053	0,059	0,105	0,115
100	0,088	0,097	0,038	0,042	0,079	0,087
180	0,049	0,054	0,020	0,022	0,045	0,049
320	0,028	0,030	0,010	0,010	0,026	0,028

Пусковые параметры врубовых электродвигателей

Таблица 3

Т и п	$I_{пн}, \text{а}$	$Z_{пд}, \text{ом}$	$\cos \varphi_{пд}$	$\sin \varphi_{пд}$
МА—191/3М	410	0,537	0,48	0,88
МА—191/10	510	0,431	0,54	0,84
МАД—191/11	550	0,400	0,56	0,83

По выражению (4) легко может быть построено семейство кривых $I_{пф} = f(I_n)$ для различных трансформаторов и наиболее часто применяемых электродвигателей, пусковой режим которых представляет интерес. Подобные кривые в прямоугольной системе координат для электродвигателей МА—191/3М, МА—191/10 и МАД—191/11 при различных вариантах трансформаторной мощности показаны на рис. 1,2 и 3. При построении кривых принято $U_{нт} = 400 \text{ в}$. Если напряжение на трансформаторе U_m отличается от 400 в вследствие использования регулировочных зажимов трансформатора или вследствие наличия нагрузки нормально работающих потребителей или по какой-либо другой причине, то во всех таких случаях следует

значения токов, найденные по кривым, умножать на $\frac{U_m}{400}$.

Точность расчетов по формуле (4) или по кривым практически соответствует точности расчетов по методу результирующего сопротивления, превосходя последний по простоте. Особенно удобны расчеты по кривым, сводящиеся по сути дела лишь к определению эквивалентной длины кабеля.

Если к пусковой цепи присоединена нагрузка нормально работающих потребителей, определение пускового тока значительно усложняется, так как величина последнего определяется не только сопротивлением пусковой цепи, но также нагрузкой нормально работающих потребителей, которая, в свою очередь, зависит от пускового тока.

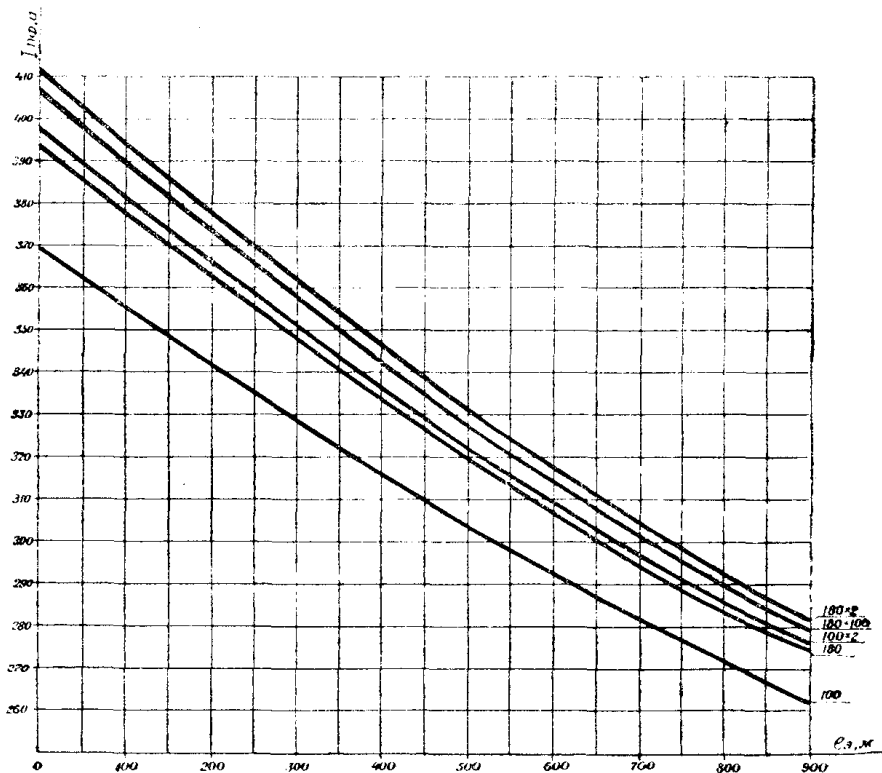


Рис. 1. Кривые для определения пускового тока электродвигателя МА—191/3М

Решить аналитически точно задачу определения пускового тока в этих условиях затруднительно или даже невозможно, особенно для довольно разветвленных участковых сетей, имеющих место на практике.

Поэтому при наличии нагрузки нормально работающих потребителей приходится решать эту задачу с известным приближением по сравнению с результатами расчетов по методу результирующего сопротивления, который, как и предлагаемый способ, предполагает, что нагрузка нормально работающих потребителей не зависит от пускового тока.

Уменьшение пускового тока двигателя от действия тока нормальной нагрузки, протекающего по пусковой цепи, очевидно, можно учесть снижением напряжения на трансформаторе (1) и некоторым увеличением длины эквивалентного кабеля на тех его участках, по которым проходит ток нормальной нагрузки. Тогда оказывается возможным в качестве расчетной схемы использовать такую же простую схему, как и при отсутствии нагрузки нормально работающих потребителей, что приводит к решению, аналогичному (4).

Увеличение длины эквивалентного кабеля, проложенного между трансформатором и пускаемым двигателем, можно подсчитать, руководствуясь следующими соображениями.

Суммарная потеря напряжения в кабеле, по которому одновременно протекают ток нормально работающих потребителей I_H и пусковой ток рассматриваемого двигателя $I_{нф}$:

$$\begin{aligned} \Delta U_{нп} = \Delta U_n + \Delta U_H = I_{нф} (r_K \cos \varphi_{нд} + x_K \sin \varphi_{нд}) + \\ + I_H (r_K \cos \varphi_H + x_K \sin \varphi_H) = I_{нф} l_s \times \\ \times \left(\frac{0,0188}{50} \cos \varphi_{нд} + \frac{0,07}{10^3} \sin \varphi_{нд} \right) + I_H l_s \times \\ \times \left(\frac{0,0188}{50} \cos \varphi_H + \frac{0,07}{10^3} \sin \varphi_H \right). \end{aligned}$$

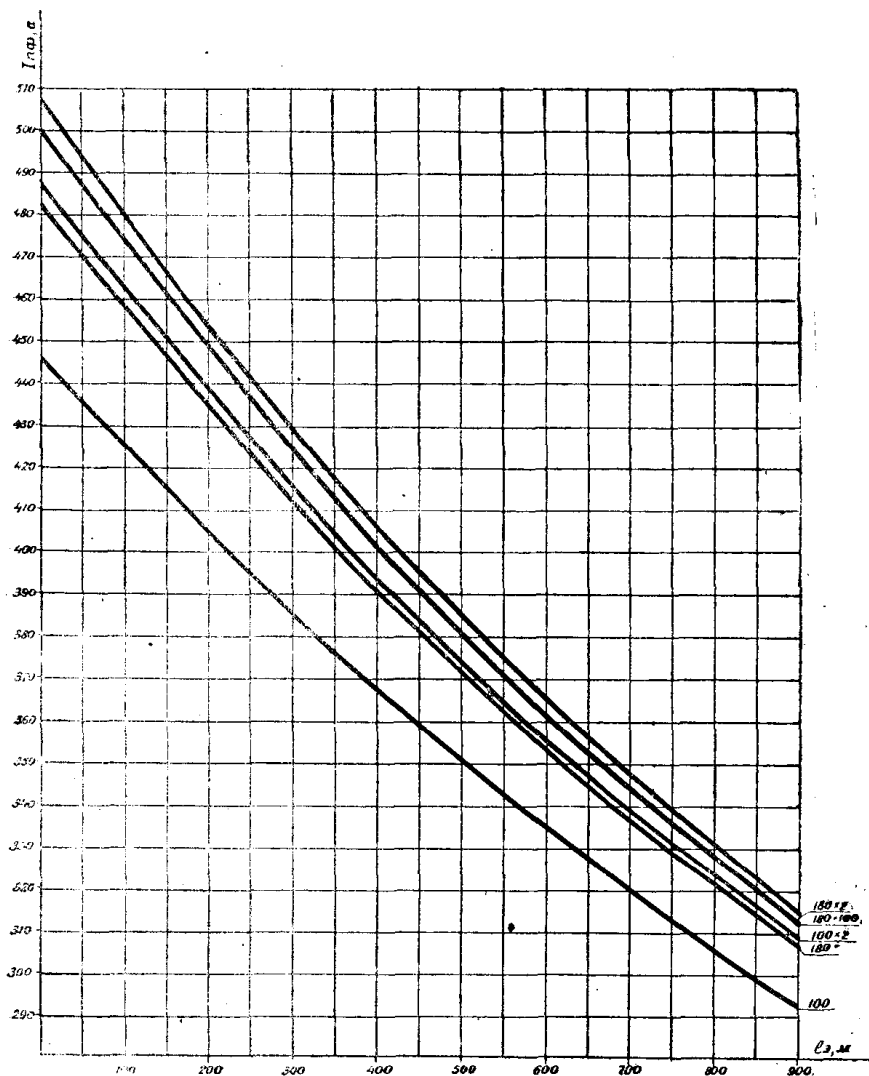


Рис. 2. Кривые для определения пускового тока электродвигателя МА-191/10

Разделим обе части последнего равенства на

$$\Delta U_n = I_{нф} l_s \left(\frac{0,0188}{50} \cos \varphi_{нд} + \frac{0,07}{10^3} \sin \varphi_{нд} \right),$$

получим

$$\frac{\Delta U_{нп}}{\Delta U_n} = 1 + \frac{I_n \left(\frac{0,0188}{50} \cos \varphi_n + \frac{0,07}{10^3} \sin \varphi_n \right)}{I_{пф} \left(\frac{0,0188}{50} \cos \varphi_{пф} + \frac{0,07}{10^3} \sin \varphi_{пф} \right)}$$

Решение данного уравнения относительно $I_{пф}$ возможно, но несколько громоздко, и поэтому в целях значительного упрощения допустимо принять здесь $I_{пф} \approx I_{пн}$, что несколько уменьшает сопротивление пусковой цепи по сравнению с действительным. Но так как скалярное сложение

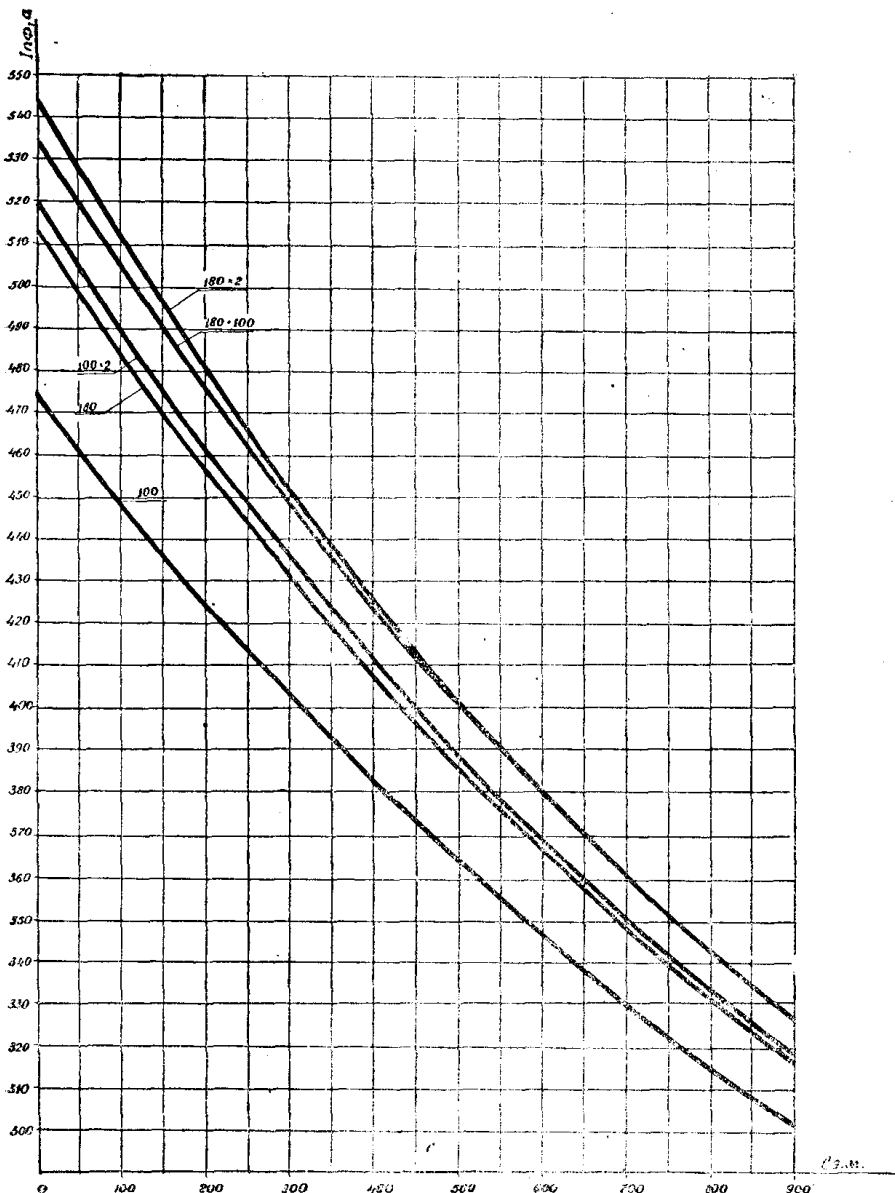


Рис. 3. Кривые для определения пускового тока электродвигателя МАД-191/11

сопротивлений Z_m и $Z_{пф}$ дает ошибку другого знака, то общая ошибка в вычислении значения пускового тока получается небольшой. Можно также,

как показали исследования, пренебречь вторыми слагаемыми, стоящими в скобках последнего выражения. Тогда

$$\frac{\Delta U_{нп}}{\Delta U_n} \approx 1 + \frac{I_n \cos \varphi_n}{I_{нн} \cos \varphi_{нд}}$$

Поскольку в обоих случаях сечение эквивалентного кабеля одинаковое, а потери напряжения пропорциональны длине кабелей, отношение потерь напряжения можно заменить отношением соответствующих длин эквивалентного кабеля:

$$\frac{l_{эн}}{l_э} = 1 + \frac{I_n \cos \varphi_n}{I_{нн} \cos \varphi_{нд}} = K_n$$

или

$$l_{эн} = l_э \cdot K_n = l \cdot K_э \cdot K_n, \quad (7)$$

где $l_э$ — эквивалентная длина кабеля, определяемая без учета нагрузки нормально работающих потребителей;

$l_{эн}$ — то же с учетом нагрузки нормально работающих потребителей;

l — действительная длина кабеля данного сечения;

$K_n = 1 + \frac{I_n \cos \varphi_n}{I_{нн} \cos \varphi_{нд}} \geq 1,0$ — коэффициент увеличения эквивалентной длины

кабеля за счет влияния нагрузки нормально работающих потребителей.

Таким образом, во всех возможных случаях распределения электрической энергии на участке пусковой ток электродвигателя можно определить по выражению

$$I_{нф} = \frac{100(U_{нм} - \Delta U_m)}{\sqrt{3} \cdot 10^4 (Z_m + Z_{нд})^2 + (7,5 \cos \varphi_{нд} + 1,4 \sin \varphi_{нд})(Z_m + Z_{нд})l_{эн} + 0,00147l_{эн}^2} \quad (8)$$

Напряжение в некоторой точке эквивалентного кабеля

$$U = U_{нм} - \Delta U'_m - \frac{l'_{эн}}{l_{эн}} (U_{нм} - \Delta U'_m - U_{нд}), \quad (9)$$

здесь

$l'_{эн}$ — эквивалентная длина кабеля от трансформатора до рассматриваемой точки;

$l_{эн}$ — то же от трансформатора до пускаемого двигателя;

$\Delta U'_m$ — потеря напряжения в трансформаторе при протекании токов I_n и $I_{нф}$.

$$\begin{aligned} \Delta U'_m &= V \sqrt{3} I_n (r_m \cos \varphi_n + x_m \sin \varphi_n) + V \sqrt{3} I_{нф} \times \\ &\times (r_m \cos \varphi_n + x_m \sin \varphi_n) = \Delta U_m + V \sqrt{3} I_{нф} \times \\ &\times (r_m \cos \varphi_n + x_m \sin \varphi_n), \end{aligned}$$

здесь

$$\cos \varphi_n = \frac{R_n}{Z_n} = \frac{R_m + R_{нд} + R_k}{Z_n} \approx \frac{(Z_m + Z_{нд}) \cos \varphi_{нд} + 0,375 \cdot 10^{-3} I_{эн}}{Z_n}$$

— коэффициент мощности пусковой цепи.

Ряд расчетов показал, что определение пусковых токов электродвигателей по выражению (8) производится с ошибками (главным образом положительными), не превышающими 1,0—2,5%, если в качестве контрольных величин пусковых токов принимать величины, найденные по методу результирующего сопротивления сети. В то же время предлагаемый способ выгодно отличается от метода результирующего сопротивления сети простотой,

что особенно ощущается при разветвленной схеме электроснабжения участка. Кривые, представленные на рис. 1, 2, 3, позволяют весьма просто, с наименьшей затратой времени, находить пусковые токи электродвигателей, какой бы степенью сложности ни отличалась схема распределения электроэнергии на участке.

Согласно правилам безопасности в угольных и сланцевых шахтах выбор уставок максимальных токовых реле автоматов и пускателей должен производиться с учетом токов двухполюсного короткого замыкания в участковой сети низкого напряжения. Указанные токи определяют по кривым $I_{\infty}^{(2)} = f(l_s)$, построенным для отдельных одиночно работающих трансформаторов [5].

Легко показать, что установившиеся токи двухполюсного короткого замыкания в участковой сети низкого напряжения можно также просто найти аналитически по выражению, аналогичному (4), т. е.

$$I_{\infty}^{(2)} = \frac{100 U_{нт}}{2\sqrt{m + nl_s + pl_s^2}} \text{ а,} \quad (10)$$

где величины m и n не зависят от длины и сечения кабелей и для данного трансформатора постоянны; значения m и n указаны в табл. 4, а также представлены в виде кривых на рис. 4, которые позволяют определить m и n и при параллельной работе трансформаторов; $p = 0,00147$ во всех случаях, как и выше.

Таблица 4

$S_{нт},$ кВА	Значение m при $U_{нт}, \text{ в}$		Значение n при $U_{нт}, \text{ в}$	
	400	420	400	420
50	337	414	0,934	1,019
75	156	190	0,625	0,686
100	90	110	0,475	0,518
180	32	38	0,293	0,315
320	12	14	0,191	0,195

Зависимости $I_{\infty}^{(2)} = f(l_s)$ для отдельных трансформаторов изображаются кривыми, подобными кривым [2], но расположенными несколько выше, так как определение токов короткого замыкания по выражению (10) производится более точно.

Пример 1. Определить пусковой ток электродвигателя МА—191/10 для схемы рис. 5.

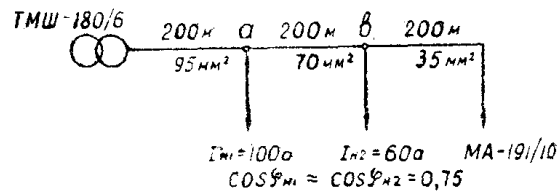


Рис. 5. Расчетная схема.

Согласно выражению (7) и данным табл. 1 и 3 находим

$$I_{эп} = 200 \cdot 0,55 \left(1 + \frac{160 \cdot 0,75}{510 \cdot 0,54} \right) + 200 \cdot 0,73 \left(1 + \frac{60 \cdot 0,75}{510 \cdot 0,54} \right) + 200 \cdot 1,42 = 158 + 170 + 284 = 612 \text{ м.}$$

Потеря напряжения в трансформаторе от тока нормально работающих потребителей

$$\Delta U_m = \sqrt{3} \cdot 160 (0,020 \cdot 0,75 + 0,045 \cdot 0,66) \approx 12 \text{ в.}$$

Пусковой ток электродвигателя по выражению (8)

$$I_{пф} = \frac{100(400 - 12)}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{10^4 (0,049 + 0,431)^2 + (1,5 \cdot 0,54 + 1,4 \cdot 0,84) \cdot (0,049 + 0,431) 612 + 0,00147 \cdot 612^2}} = \frac{100 \cdot 388}{\sqrt{3} \cdot 0,661} \approx 339 \text{ а.}$$

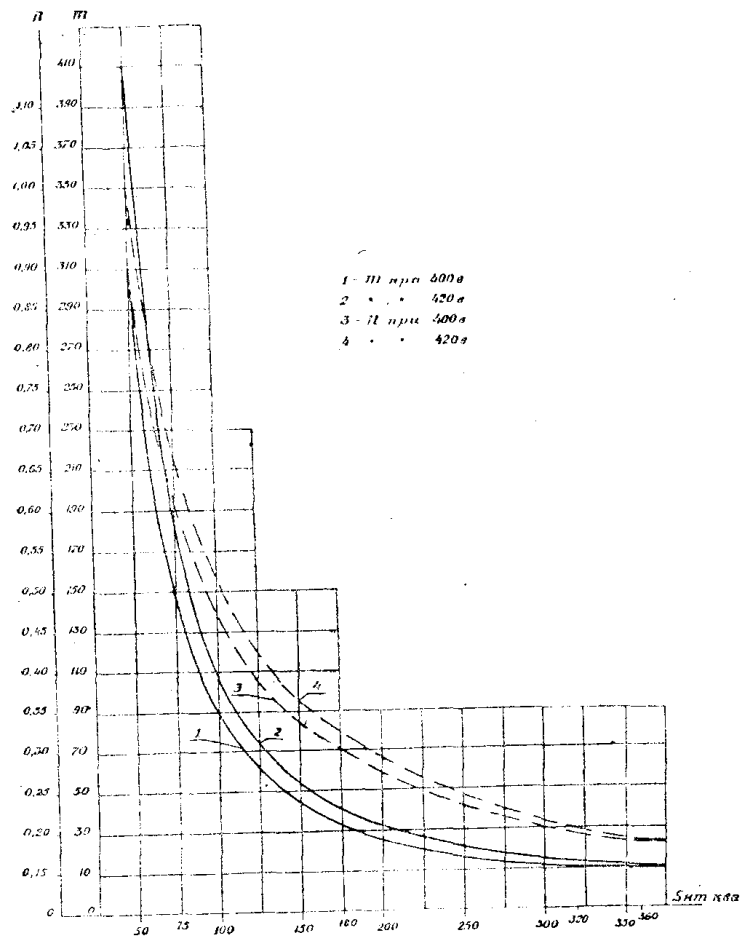


Рис. 4. Значение коэффициентов m и n для определения тока двухполюсного короткого замыкания.

Коэффициент мощности пусковой цепи

$$\cos \varphi_n = \frac{(0,049 + 0,431) \cdot 0,54 + 0,375 \cdot 10^{-3} \cdot 612}{0,661} = 0,737.$$

Напряжение на зажимах пускаемого двигателя

$$U_{нд} = \sqrt{3} \cdot 339 \cdot 0,431 = 253 \text{ в.}$$

Потеря напряжения в трансформаторе от тока нормальной нагрузки и пускового тока электродвигателя

$$\Delta U_m = 12 + \sqrt{3} \cdot 339(0,020 \cdot 0,737 + 0,045 \cdot 0,676) = 38 \text{ в.}$$

Напряжение в точке *b*

$$U_b = 400 - 38 - \frac{158 + 170}{612} (400 - 38 - 253) = 304 \text{ в.}$$

Пусковой ток, определенный по методу результирующего сопротивления,

$$I_{пф} = 342 \text{ а. Ошибка } \frac{342 - 339}{342} \cdot 100 = 0,9 \%$$

По кривой рис. 2 при $I_{эн} = 612 \text{ м}$ $I_{пф} = 351 \text{ а}$. Учитывая потерю напряжения в трансформаторе $\Delta U_m = 12 \text{ в}$, получим

$$I_{пф} = 351 \cdot \frac{400 - 12}{400} \approx 340 \text{ а.}$$

Пример 2. Найти ток $I_{\infty}^{(2)}$ в точке *b* схемы предыдущего примера.

$I_s = 200 \cdot 0,55 + 200 \cdot 0,73 = 256 \text{ м}$; согласно (10) и табл. 4 при $U_{нт} = 400 \text{ в}$.

$$I_{\infty}^{(2)} = \frac{100 \cdot 400}{2\sqrt{32 + 0,293 \cdot 256 + 0,00147 \cdot 256^2}} \approx 1403 \text{ а.}$$

Выводы

1. Существующие способы определения пусковых токов электродвигателей забойных машин не обладают достаточной точностью или простотой.
2. Предлагаемый способ расчета позволяет определять пусковые токи электродвигателей забойных машин и токи двухполюсного короткого замыкания с учетом работы других двигателей, подключенных к расчетной сети, значительно проще и требует меньше времени по сравнению с существующими способами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейбов Р. М. Уставки тепловых реле пускателей ПМВ—1355 и ПМВ—1365. Сборник статей „Горная механика и электротехника“ Донецкого индустриального института, Углетехиздат, 1954.
2. Берстель В. Н. Основные технические требования к электродвигателям новых забойных машин. Уголь, № 1—2, 1945.
3. Озерной М. И. Горная электротехника. Углетехиздат, 1951.
4. Михеев Ю. А., Файбисович И. Л. Расчет кабельной сети участка шахты. Углетехиздат, 1951.
5. Ефремов В. К. и Хаеш М. М. Защита от токов короткого замыкания в подземных электрических сетях низкого напряжения. Промышленная энергетика, № 12, 1952.