

## УПРАВЛЕНИЕ НА РУДНИЧНИЯ ПОДВИЖЕН СЪСТАВ

Управлението на подвижния състав се свежда до поставянето му в различни работни режими (теглене, спиране, свободно движение), както и до подбиране на параметрите на режима (посока и скорост на движение; натоварване на задвижването) в съответствие с конкретните условия на движението и възможностите (тягови и спирачни) на състава.

### Глава I

## ПУСКАНЕ В ДВИЖЕНИЕ

### 39. ПУСКАНЕ В ДВИЖЕНИЕ НА ДИЗЕЛОВИТЕ ЛОКОМОТИВИ

Пускането в движение на дизеловите локомотиви се извършва в два етапа: 1) пускане в движение на дизеловия двигател и 2) привеждане в движение на водещите колооси.

Пускането в движение на дизеловия двигател се извършва без товар и се състои в развъртането на колянния вал до определена ъглова скорост, при която се осъществява възпламеняването на горивото от съгъстения в работните цилиндри въздух.

Развъртането на колянния вал може да се осъществи ръчно чрез пускането на съгъстен въздух в работното пространство на цилиндрите или чрез специален пусков двигател (стартер), задвижван с пневматична, хидравлична или електрическа енергия.

Пускането на локомотива, т.е. привеждането на водещите колооси в движение, се реализира чрез плавното включване на колянния вал в кинематичната верига на силовата предавка. Това включване може да бъде управлявано от машиниста (в такъв случай то се осъществява чрез главния триещ съединител на предавката) или извършвано автоматично (при хидродинамичните предавки).

### 40. ПУСКАНЕ В ДВИЖЕНИЕ НА РУДНИЧНИТЕ ЕЛЕКТРОЛОКОМОТИВИ

Нормално серийните тягови електродвигатели са в постоянна кинематична връзка със задвижваните от тях колооси, така че пускането им в движение съответно означава пускане в движение (потегляне) и на самия локомотив. Потеглянето и ускоряването на локомотива до определена, установена скорост трябва да бъде осъществено плавно, т.е. при постоянно по големина пусково ускорение  $j_1$ .

Ще анализираме величините, обуславящи пусковото ускорение на локомотива (със или без вагонен състав), както и възможностите за неговото регулиране, като за по-голяма яснота първоначално ще разгледаме пускането на локомотив, задвижван само от един тягов двигател.

От основното уравнение за движението на влака (форм. II-14) следва, че условията за реализиране на плавно пускане на локомотива (а следователно и на неговия тягов електродвигател) ще има вида

$$j_1 = \frac{dv}{dt} = \frac{F - \sum W}{M_{\text{прив}}} = \text{const} . \quad (\text{IV-1})$$

От горното равенство следва, че при постоянна маса на влака необходимото условие за осигуряване на постоянно ускорение е

$$F - \sum W = \text{const} . \quad (\text{IV-2})$$

Тъй като за малки скорости големината на статичното съпротивление на движението  $\sum W$  почти не се изменя, за постигане постоянство на ускорението е

необходимо теглителната сила на влака през пусковия процес да се поддържа постоянна, т.е.

$$F = \text{const},$$

или, което е все едно - да се поддържа постоянен въртящият момент  $M$  на двигателя. Тъй като в двигателите за постоянен ток със серийно възбуждане въртящият момент се определя съгласно равенството (III-13), въртящият момент може да бъде постоянен само при поддържане на постоянен по големина ток  $I = \text{const}$  в течение на пусковия период на двигателя. От равенства III-4 и III-5 следва, че

$$I = \frac{U - E}{R} = \frac{U - c\Phi n}{R}. \quad (\text{IV-3})$$

От горното равенство следва, че при захранването на двигателя направо с номиналното му напрежение  $U$  първоначалната стойност на тока ще се получи твърде голяма, тъй като при неподвижна котва на двигателя (т.е. при  $n=0$ ) неговата противоелектродвижеща сила  $E=0$ , а съпротивлението  $R_a$  е твърде малко. С ускоряването на двигателя реакцията на котвата му т.е.  $E$ ) нараства, а силата на тока постепенно ще намалява, т.е. не ще бъде възможно реализирането на равноускорително движение на локомотива и влака. Очевидно поддържането на  $I = \text{const}$  е възможно само чрез компенсиране появата нарастването на  $E$ . По принцип това може да се постигне по два начина:

- 1) чрез включването на регулируемо пусково съпротивление  $r$  в котвената верига на двигателя (така нареченото реостатно пускане);
- 2) чрез регулиране на напрежението, с което се захранва двигателят през време на пусковия му период (безреостатно пускане).

Реостатното пускане на тяговите двигатели се съпровожда с неизбежни загуби на енергия в пусковото съпротивление, но може да бъде прилагано при всички видове електрически локомотиви.

Безреостатното пускане на тяговите двигатели е по-икономичен начин на пускане, който обаче не може да бъде приложен при контактните електрически локомотиви. Използването му е особено подходящо при акумулаторните руднични локомотиви. Регулирането на напрежението в този случай се осъществява чрез изменение свързванията на акумулаторните елементи.

а. При реостатно пускане на тяговия двигател изразът за тока ще има вида

$$I = \frac{U - c\Phi n}{R + r}. \quad (\text{IV-4})$$

От равенство (IV-4) следва, че за да бъде токът на двигателя постоянен през пусковия период, нарастването на честотата на въртенето на двигателя  $n$  трябва да се компенсира с постоянно намаляване стойността на пусковото съпротивление  $r$ . От горната формула може да се получи законът, по който трябва да става това изменение:

$$r = \frac{U - c\Phi n}{I} - R, \quad (\text{IV-5})$$

или

$$r = \left( \frac{U}{I} - R \right) - \frac{c\Phi n}{I} \quad (\text{IV-6})$$

Понеже сме си задали като условие поддържането на  $I = \text{const}$  (а следователно и на  $\Phi = k'I = \text{const}$ ), равенство (IV-6) може да бъде написано и по следния начин:

$$r = A - Bn, \quad (\text{IV-7})$$

където  $A = \left( \frac{U}{I} - R \right)$  и  $B = \frac{c}{I}$ .  $\Phi$  са константи.

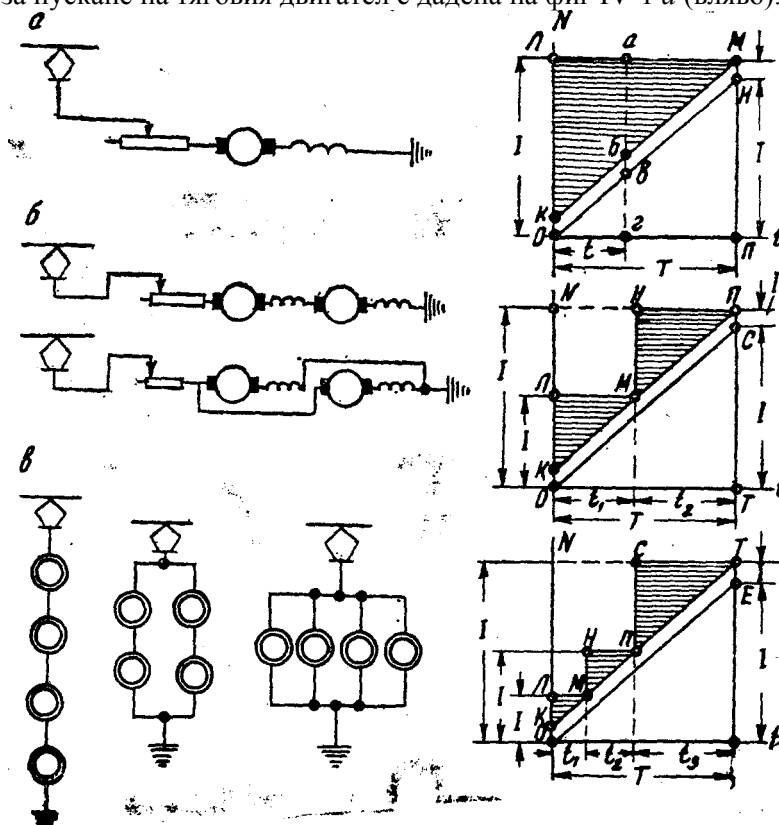
Изразът (IV-7) е уравнение на права. От това уравнение следва, че в момента на пускането на двигателя, т.е. при  $n = 0$ , съпротивлението на реостата трябва да има максимална стойност:

$$r_{\max} = A = \frac{U}{I} - R. \quad (\text{IV-8})$$

В периода на управляваното чрез реостат ускоряване на влака скоростта на въртене на двигателя трябва да нарасне от нула до максималната си стойност, която съответствува на условието за излизане на естествената характеристика на двигателя при даден ток  $I$ . В този момент пусковото съпротивление трябва да бъде изключено напълно  $r = 0$ .

След изключването на пусковото съпротивление работата на двигателя ще протича автоматично по неговата характеристика, а токът ще се изменя съгласно форм. (IV-3).

Схемата за пускане на тяговия двигател е дадена на фиг IV-1 а (вляво).



Фиг. IV-1. Принципи схеми и диаграми на мощността при различни начини на пускане на тяговите електродвигатели: а-пускане на един двигател; б—последователно-паралелно пускане на два двигателя; в—три-степенно пускане на четири двигателя

Ако двете страни на равенство (IV-6) умножим с  $I^2$ , ще получим израза за подаваната към двигателя мощност  $N$

$$N = UI = I^2 r + I^2 R + EI, \quad (\text{IV-9})$$

където

$I^2 r$  е моментната стойност на мощността, загубена в пусковия реостат, когато стойността на съпротивлението му е  $0 < r < r_{\max}$ ;

$I^2 R$  - моментната стойност на мощността, загубена в намотките на двигателя;

$EI$  - моментната стойност на мощността, изразходвана за извършване на полезна работа.

Ако означим с  $t$  текущата координата на времето, а с  $T$  - времетраенето на пусковия процес на двигателя, то при  $t = 0$ ,  $E = 0$  (тъй като двигателят е още в покой), а  $r = r_{\max}$ , така че равенство (IV-9) ще добие вида

$$UI = I^2 r_{\max} + I^2 R. \quad (\text{IV-10})$$

При  $t = T$  (т.е. в края на пусковия процес)  $r = 0$  и равенство (IV-9) ще се преобразува съответно:

$$UI = I^2 R + EI. \quad (IV-11)$$

Равенството (IV-9) описва разпределението на подаваната към двигателя мощност за някакво произволно, междинно по отношение на разгледаните случаи значение на  $t$ .

На фиг. IV-1 а (вдясно) е показана диаграмата на пусковата мощност на двигателя. Отсечката  $LK$  характеризира загубата на мощност в реостата в началото на пусковия процес; отсечката  $ab$  - след време  $t$  от началото на пускането, а т.  $M$  - в края на процеса. Отсечките  $KO = bv = MH$  характеризират постоянните по големина загуби на мощност в намотката на двигателя.

Точка  $O$  характеризира изразходваната за полезна работа мощност в началото на пусковия процес на двигателя; отсечките  $vg$  и  $HP$  - същата мощност съответно след време  $t$  и  $T$ .

Отсечката  $KM$  характеризира изменението на съпротивлението на пусковия реостат във функция от времето. Че това действително е отсечка от права, следва от равенство (IV-7), тъй като при равноускорително движение на влака (което е и желаният режим),  $p = \varepsilon.t$ , където  $\varepsilon = \text{const}$  е ъгловото ускорение на двигателната котва.

Означените на диаграмата на пусковата мощност площи изразяват съответно: площта  $KLM$  - електрическата енергия, загубена (т.е. превърнала се в джаулова топлина) в реостата по време на пусковия процес; площта  $KMHO$  - електрическата енергия, загубена в намотката на двигателя (също под формата на джаулова топлина); площта  $ONP$  - електрическата енергия превърнала се в механична работа, която е била изразходвана за ускоряването на влака.

От фиг. IV-1а се вижда, че загубите на енергия в реостата при осъществено плавно потегляне на влака са числено равни на полезната работа, извършвана от двигателя за цялото време на реостатното пускане. Ако бъдат пренебрегнати загубите на енергия в намотките на двигателя, може да се каже, че загубите в пусковия реостат възлизат на 50% от цялата енергия, която се довежда към двигателя по време на пускането му.

Дотук беше разгледано пускането в движение на влак, чийто локомотив е съоръжен само с един тягов двигател. Обаче всички изводи, направени за случая на пускане с един двигател, остават изцяло в сила и ако в локомотива бъдат монтирани два или повече двигатели при положение, че тяхното взаимно свързване (последователно или паралелно) остава непроменено през време на пусковия процес. Пускането при тези условия на два или повече двигатели се нарича едностепенно.

За да се увеличи икономичността на пускането при наличието на два двигателя на локомотива, в първата половина на пусковия период те могат да бъдат съединени последователно помежду си, а във втората - паралелно. Този начин на пускане се нарича двустепенен или последователно-паралелен. В сравнение с едностепенното пускане двустепенното дава значителна икономия на енергия, а освен това прави възможно получаването на две икономични ходови скорости на локомотива (едната при паралелно, а другата - при последователно свързване на двигателите).

Последователността на превключванията при последователно-паралелното пускане на два тягови електродвигателя е показана на фиг. IV-1б (вляво).

В първия момент на пускането двигателите са свързани последователно и реостатът е напълно включен ( $r = r_{\max}$ ) в силовата верига. Всеки двигател се намира под напрежение, по-малко от половината на напрежението в мрежата (поради падението на напрежение в реостата), а токът, консумиран от локомотива, е равен на пусковия ток  $I$  на единия двигател.

След началния период на пускане съпротивлението на реостата постепенно се изключва. След завършването на първия етап от пускането (т.е. приблизително към средата на пусковия период  $T$ ) реостатът бива напълно изключен, а последователно свързаните помежду си двигатели остават директно включени в електрическата мрежа, като напрежението на клемите на всеки един от тях е равно на половината от напрежението на мрежата.

Със завършването на първия етап на пускането двигателите се превключват на паралелно съединение, като едновременно с това в общата им верига отново се

включва реостатът.

Напрежението на клемите на всеки двигател е по-голямо от половината, но по-малко от пълното напрежение на мрежата (поради наличието на падение на напрежение в реостата), а токът, консумиран от локомотива, е равен на удвоения пусков ток на единия двигател –  $2I$ .

След завършването на втория етап на пускането (т.е. след завършването на процеса на постепенно изключване на реостата) двигателите остават паралелно свързани помежду си, като са захранени с пълното напрежение на мрежата. Това е краят на пусковия процес.

На фиг. IV-1б (вдясно) е показана диаграмата на разхода на енергия в периода на работата на двигателите с включен реостат при последователно паралелно (двустепенно) пускане. Смисълът на направените означения е:

- времетраене на първия етап от пусковия период (при последователно свързване на двигателите);
- времетраене на втория етап от пусковия период (при паралелно свързване на двигателите).

Показаната на фиг. IV-1б заштрихована площ представлява загубата на енергия в реостата, която в случая е равна на половината от полезната работа, извършена от двигателите по време на пускането. При последователно-паралелното пускане на два тягови двигателя загубата на енергия в реостата съставлява около 33% от получената от мрежата енергия (срещу 50% при едностепенното паралелно пускане на същите двигатели).

На фиг. IV-1в са показани пусковите схеми и диаграмите на мощността при тристепенно пускане, прилагано при промишлени електролокомотиви, съоръжени с четири тягови двигателя. В първата схема четирите двигателя са съединени последователно и напрежението на клемите на всеки един от тях е равно на четвърт от номиналното. Във втория етап на пускането (вж. втората схема) е осъществено последователно-паралелно свързване на двигателите - напрежението, приложено на клемите на всеки двигател, е равно на половината от мрежовото, а токът, консумиран от локомотива, е равен на двойния пусков ток на един от двигателите. В третия етап на пускането - (вж. третата схема на фиг. IV-1в) всички двигатели са свързани паралелно и са захранени с пълно мрежово напрежение, а токът, консумиран от локомотива, е равен на четирикратния пусков ток на един от двигателите.

От диаграмата на мощността (фиг. IV-1в - вдясно) се вижда, че загубите в реостата в случая съставляват около  $3/8$  от полезната работа на двигателите или около 27% от получената от мрежата енергия по време на пускането.

б. При безреостатното пускане на тяговия двигател поддържането на постоянен по големина пусков ток се осъществява чрез регулирането на напрежението така, че то във всеки момент да компенсира нарастващата противоелектродвижеща сила  $E$ , на ускоряващата се котва. От форм. IV-3, следва, че законът, по който трябва да се регулира захранващото двигателя напрежение във функция от скоростта на въртене на котвата, ще бъде

$$U = Q.D.n, \quad (IV-12)$$

където  $Q = I.R$  и  $D = c.\Phi$  са константи.

Изразът IV-12 е уравнение на права. От това уравнение следва, че в момента на пускането на двигателя (т.е. при  $n = 0$ ) напрежението трябва да има минимална стойност:

$$U_{\min} = Q = I.R, \quad (IV-13)$$

а при завършване на пусковия процес - максимална стойност:

$$U_{\max} = U_{\text{ном}}. \quad (IV-14)$$

Изразът за подаваната към двигателя мощност ще има вида

$$N = U.I = I^2.R + E.I. \quad (IV-15)$$

От съпоставянето на равенства IV-9 и IV-15 следва, че при безреостатното пускане, осъществявано чрез регулиране на захранващото двигателя напрежение, общата консумирана електроенергия ще се изразява с площта *ОКМП*, показана на фиг. IV- 1а. Преимуществовата на този начин на пускане пред реостатното по отношение на икономичността са очевидни.

При безреостатното пускане на няколко тягови двигателя също се прибегва до прегрупирането им в хода на пусковия процес, т.е. използва се двустепенното или тристепенното пускане.