

---

## Параллельная работа двух моторов на общем валу \*).

В практике электрификации промышленных предприятий могут представиться случаи, когда требуется одну рабочую машину приводить в движение одновременно от двух электромоторов. Основанием для этого, в числе других причин, может явиться:

1. Устройство в наиболее ответственных установках резервного двигателя в виде второго электромотора на общем валу (в некоторых электронасосных агрегатах).

\* ) Из подготавливаемого автором к печати справочника „Электромоторные приводы“.

2. Необходимость понижения общего махового момента ( $GD^2$ ) путем установки двух меньших моторов вместо одного крупного, что требуется, иногда при приводе роульгангов, реверсивных прокатных станков, строгальных и т. п. станков с реверсивным движением.

3. В производствах, в которых отдельные механизмы приводятся в движение двумя или несколькими моторами, необходимо, чтобы числа оборотов этих моторов были строго одинаковы или же оставались бы в одном и том же отношении. Такие условия существуют, например, в типографских станках, в машинах бумажного производства, в прядильных станках и т. д., где число оборотов моторов должно находиться в определенном передаточном отношении. В противном случае, при ускорении одной какой-либо части механизма обрабатываемый предмет слишком туго натягивается и может порваться; наоборот, при замедлении движения, фабрикат может смяться и подвергнуться порче.

4. В случае козлового крана, перемещаемого самостоятельными моторами у каждой стойки или в случае длинного мостового крана, имеющего по концам 2 отдельных мотора (взамен длинного продольного вала), необходима вполне синхронная работа обоих моторов, для того, чтобы один конец крана не забегал по отношению к другому. Аналогичные условия имеются при под'еме или посадке фермы разводного моста двумя моторами, где во избежание ее перекоса требуется одинаковая скорость каждого из них.

5. В некоторых случаях одна и та же рабочая машина в различные периоды может требовать различную мощность, напр., центробежный насос подающий из охладительного пруда воду для конденсации: в холодное время года количество необходимой воды—а вместе с ним—и мощность насоса могут значительно (в 2—3 раза) уменьшиться. При таком режиме работы можно на общем валу установить 2 мотора половинной мощности, с расцепными муфтами.

6. При росте производства может увеличиваться нагрузка существующего трансмиссионного вала, приводимого от электромотора, что требует установки более мощного мотора. Если диаметр трансмиссионного вала выбран без запаса, то передавать большую мощность с одного конца может оказаться затруднительным, вследствие чего придется установить 2 мотора половинной мощности по краям вала, чем, отчасти, будет создан резерв (см. п. 1).

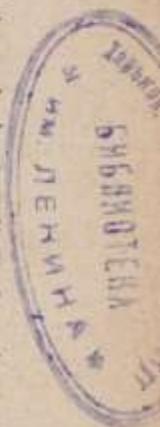
7. Чисто конструктивные соображения могут обусловить замену одного крупного мотора двумя меньшими для работы на один вал (ограниченные размеры помещения на месте установки, неудобства, сопряженные с изготовлением особенно больших, „анормального“ типа, моторов).

Все вышеприведенные случаи, в которых моторы работают параллельно, как со стороны электрической, так и механической, можно охарактеризовать условно, как „параллельную работу на 1 валу“, предполагая, что мощности моторов одинаковы.

При параллельной работе моторов можно различать след. типы приводов:

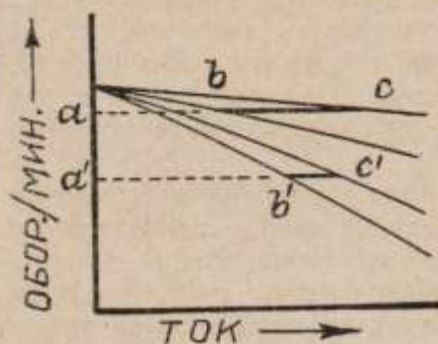
а) оба мотора имеют *жесткое соединение* на общем валу с рабочей машиной и расположены по обе стороны или с одной стороны от нее; сюда же относится случай, когда оба мотора, находясь на одном валу, имеют общую муфту-шкив (или зубчатое колесо) между ними, передающую вращение с помощью ремня на приводной вал. В этом случае числа оборотов моторов должны быть строго одинаковы.

б) оба мотора *не соединены непосредственно*, но передают вращение связанным между собой частям механизма с помощью каких-либо



передач ременных или зубчатых; в эту группу входят, напр., привод трансмиссионного вала с помощью двух ременных передач от двух моторов, передвижение козлового крана посредством двух моторов, помещенных у обоих его стоек, а также большинство приводов из области электрической тяги (трамваи, электровозы). В этом случае числа оборотов моторов должны оставаться одинаковыми или же находиться в одном и том же постоянном отношении. Однако, по условиям привода, между числами оборотов могут быть случайные (временные) или даже постоянные отклонения, происходящие от эластичности передач (проскальзывание, вытягивание ремня), от игры в зазорах и т. п., или же, наприм., от случайного торможения, которое может получить одна из осей козлового крана, электровоза и т. д. по сравнению с другой.

С механической точки зрения, привод по типу „а“ является более благоприятным для рассматриваемого случая параллельной работы; при наличии общей муфты-шкива оба мотора—для возможности подтягивания ремня—должны быть установлены на общей фундаментной плите,



Фиг. 1.

находящейся на салазках. В приводах группы „б“, даже при абсолютно одинаковых характеристиках обоих моторов—что, впрочем, является идеальным случаем\*)—может происходить неравномерное распределение нагрузки и даже перегрузка одного из моторов—напр., когда при работе на один трансмиссионный вал один из ремней оказывается сильнее натянутым из-за неоднородности их свойств. Тогда приходится нагрузку каждого мотора регулировать подтягиванием ремня на салазках в моменты остановок моторов. Вообще говоря,

во всех случаях параллельной работы электромоторов рекомендуется для лучшего контроля распределения нагрузки снабжать каждый мотор отдельным амперметром.

Что касается электрической стороны, то здесь нужно подчеркнуть следующее условие: для надежной и устойчивой параллельной работы двух моторов недостаточно еще, чтобы их характеристики мало уклонялись одна от другой, т. е. приблизительно совпадали бы, но нужно еще, чтобы их характеристики (т. е. зависимости числа оборотов от нагрузки) выражались кривыми с резким уклоном. Важность этого требования очевидна из фиг. 1. На верхней паре кривых (с небольшим уклоном) при установленном числе оборотов нагрузка на оба мотора распределяется в отношении  $ab$  к  $ac$ ; между тем для нижней пары кривых (с большим уклоном) отношение нагрузок  $a'b' : a'e'$ , т. е. гораздо ближе к единице. Отсюда непосредственно можно заключить, что для параллельной работы предпочтительнее выбирать *серийные* или *компаундные моторы*.

Серийные моторы при параллельной работе на 1 вал могут быть присоединены к сети *параллельно* или *последовательно*.

При включении на сеть параллельно, работа двух *серийных* моторов на одном валу протекает вполне *устойчиво*, так как при повышении числа оборотов одного из этих моторов растет его противо—ЭДС, из за этого сила тока и вращающий момент его падают до тех пор, пока не

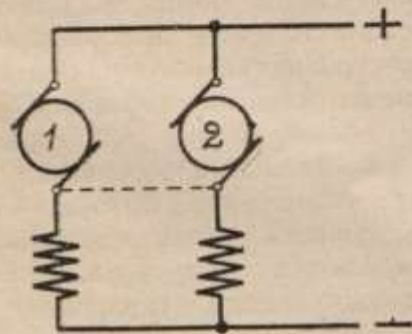
\*) Добиться совершенно идентичных характеристик для двух моторов представляется затруднительным из-за неодинаковых свойств железа, различной длины зазоров, различия в нагреве и т. д.

установится равновесие с противодействующим моментом. Серийные моторы работают также устойчиво и в том случае, когда *характеристики их не одинаковы* (не совпадают)—напр.,  $aa_1$  и  $bb_1$  на фиг. 2; тогда для каждого из параллельно работающих моторов устанавливается одна и та же сила тока, отвечающая их идентичной скорости; при этом сумма нагрузок моторов должна, конечно, равняться общему полезному сопротивлению (см. фиг. 2).

Иногда устраивают между серийными моторами уравнительное соединение, как показано пунктиром на фиг. 3, с целью достигнуть равномерного распределения нагрузки на оба мотора. От подобного устройства следует предостеречь, так как благодаря уравнительному соединению нарушается самая сущность устойчивого режима, а именно: постоянство отношения между током якоря и магнитов, в частном же случае серийного мотора—равенство этих токов. Это положение становится ясным, если вообразить, напр., что возбуждающая обмотка одного из моторов оборвана. Так как оба якоря включены параллельно на определенное напряжение, то в рассматриваемом моторе произойдет короткое замыкание, так как его противо—ЭДС будет зависеть только от остаточного магнетизма, т. е. сведется почти к нулю.

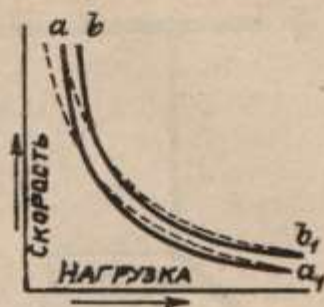
*Перекрещивание обмоток возбуждения*, к которому часто прибегают у генераторов, не может применяться для выравнивания нагрузки серийных моторов, так как при нем моторы работают неустойчиво.

Если, напр., якорь 1 мотора начинает забирать меньший ток, то от этого ослабляется поле 2 мотора и его противо—ЭДС. Благодаря этому усиливается ток во 2 моторе, а с ним—и противо—ЭДС 1 мотора. Этот процесс может продолжаться до тех пор, пока противо—ЭДС 1 мотора не превысит напряжения сети. Тогда 1 мотор начнет работать генератором на сеть, из-за чего 2 мотор будет перемagnetиваться.



Фиг. 3.

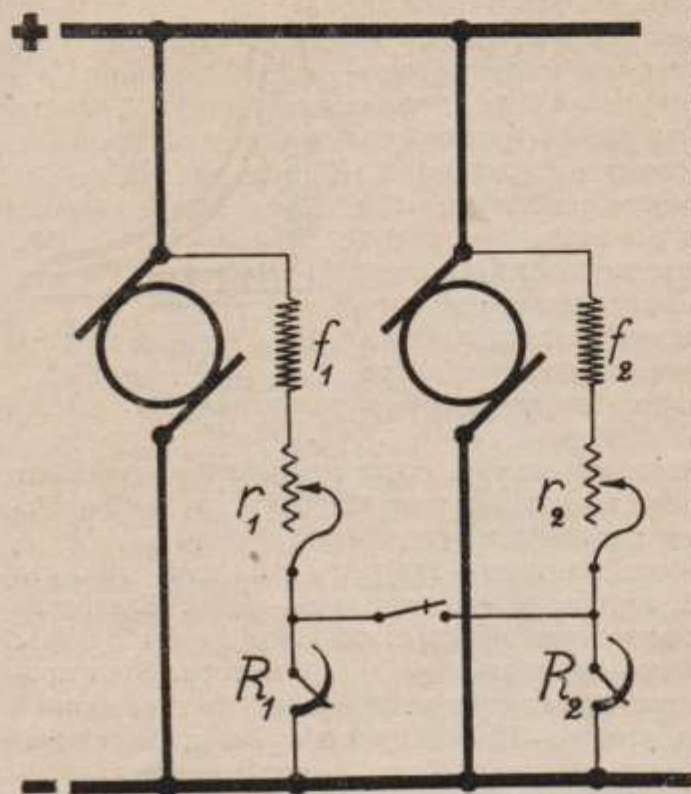
*Последовательное соединение* серийных моторов, применяемое для экономичности регулировки и пуска, также может послужить причиной неустойчивой работы, когда, напр., нарушается механическая связь между обоими последовательно включенными моторами. Такой случай может, напр., иметь место в электровозе с последовательно включенными моторами, когда одна из его приводных осей „разбегаются“, т. е. получает значительное ускорение. В этом случае уже не будет одинакового распределения напряжений на зажимах обоих моторов; „разбежавшийся“ мотор принимает на себя почти все напряжение и благодаря этому препятствует движению, так как из-за его значительной противо—ЭДС в моторы не может протекать ток требующейся силы. Независимо от связанного с этим расстройством работы, рассматриваемое явление вносит особую опасность в моторах высокого напряжения, находящихся в постоянном последовательном соединении: коллектор каждого из них может попасть под напряжение, значительно превосходящее то, для которого он построен. С такой опасностью борются, конструируя *сдвоенные моторы*, якоря которых вращают одну и ту же зубчатку (ось), так что механическая связь здесь всегда обеспечивается.



Фиг. 2.

Что касается параллельной работы *шунтовых моторов*, при параллельном включении их, то она, вообще говоря, представляется *неустойчивой*. Ничтожные изменения скорости или вольтажа вызывают резкое „скачкообразное“ изменение силы тока, даже переход мотора на генераторный режим; таким образом, шунтовой мотор является *менее пригодным* для параллельной работы.

Даже при блокировке регуляторов в цепи возбуждения шунтовых моторов нельзя обеспечить равномерное распределение на них нагрузки,



Фиг. 4.

так как отдельные ступени регуляторов могут иметь неравные сопротивления. Во избежание названных неудобств были разработаны специальные схемы включения шунтовых моторов. Так, фирма „Bergmann — Elektrizitäts-Werke“ включает моторы по схеме фиг. 4. Здесь  $f_1$  и  $f_2$  — обмотки возбуждения,  $R_1$  и  $R_2$  — шунтовые регуляторы, которые для удобства обращения можно заблокировать на 1 привод. Обе шунтовых обмотки связаны *уравнительным проводом*, благодаря которому регулировка каждым реостатом действует на возбуждение обоих моторов. Между точками присоединения уравнительного провода и между обеими обмотками  $f_1$  и  $f_2$  рекомендуется включать вспомогательные реостаты  $r_1$  и  $r_2$ , назначение которых — выравнять характеристики

самых моторов. Реостаты  $r_1$  и  $r_2$  отрегулировываются при установке машин, и к ним приходится прибегать сравнительно редко, т. е. через большие промежутки времени.

Как отражаются на параллельной работе *шунтовых моторов* незначительные изменения скорости или сопротивления цепи, можно видеть из следующего примера: \*) в электровозе зубчатой дороги работают на двух осях 2 параллельно включенных шунтовых мотора, мощностью по 100 лш. сил каждый, напряжение 650 вольт; сопротивление якоря каждого мотора составляет 0,058 ома. Оказывается, что достаточно разницы в 5 вольт между их противо-ЭДС-ами, т. е. около 1%, чтобы один из моторов стал забирать ток, вдвое больший, чем другой.

Действительно, при полной нагрузке моторов, принимая к-т пол. действия каждого  $\eta = 0,91$  и называя противо-ЭДС через  $E_1$  и, соответств.  $E_2$ , получаем:

$$\begin{aligned} i_1 + i_2 &= 250 \text{ A}, & E_1 &= E_2 + 5 \\ E_1 + i_1 \cdot 0,058 &= E_2 + i_2 \cdot 0,058, & \text{откуда} & \\ i_1 &= 82 \text{ A} & i_2 &= 168 \text{ A}. \end{aligned}$$

\*) См. E. Seefehner. Die elektr. morka Zugförderung, 2-te Auflage.

С описанным неприятным явлением при параллельной работе шунтовых моторов можно бороться, устраивая выравнивающие сопротивления по схеме фиг. 5.

Благоприятные характеристики шунтовых моторов для параллельной работы, т. е. значительные падения числа оборотов с нагрузкой, могут быть достигнуты разными средствами; можно для этого:

1) применять вспомогательные полюса с недостаточной (неполной) компенсацией, отчего действие главных полюсов усиливается,

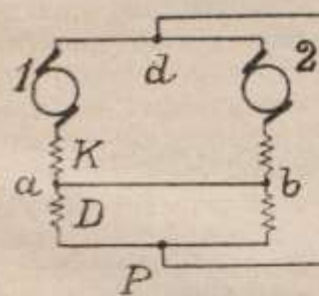
2) сдвигать щетки по направлению движения, что также обуславливает большее падение числа оборотов с нагрузкой,

3) включать в цепь якоря добавочное сопротивление,

4) слегка компаундировать главные полюса.

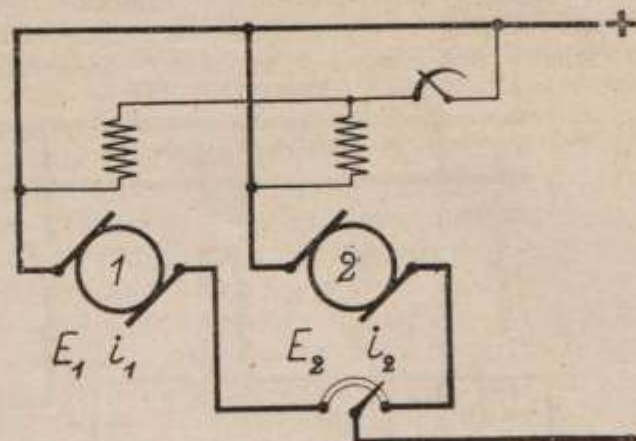
Мероприятия, указанные под поз. 1 и 2 ухудшают условия коммутации; по поз. 3—число оборотов мотора уменьшается, при чем происходит до-

полнительная потеря энергии в сопротивлении. В общем же все эти средства нарушают характерное свойство шунтового мотора,—незначительное падение числа оборотов между полной нагрузкой и холостым ходом. Во избежание этого, фирма „Westinghouse El. & Mfg. Co“, применяет параллельное включение шунтовых моторов по схеме фиг. 6. Главные полюсы моторов снабжаются несколькими витками компаундирующей обмотки *K* и таким же числом витков дифференциальной обмотки *D*, т. е. действующей в обратную сторону. Между этими обмотками включается уравнивающий провод *ab*. Так

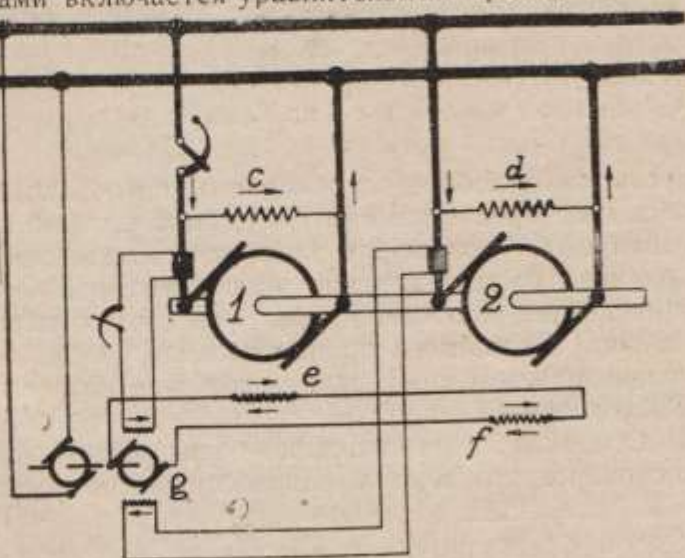


Фиг. 6.

как между зажимами *a* и *b* моторы имеют убывающую характеристику оборотов, то, следовательно, условие для надежной параллельной работы осуществлено. С другой стороны, число оборотов мотора будет меняться незначительно, в виду того, что обмотка *D* компенсирует действие обмотки *K* и возвращает мотору его основную шунтовую характеристику.



Фиг. 5.

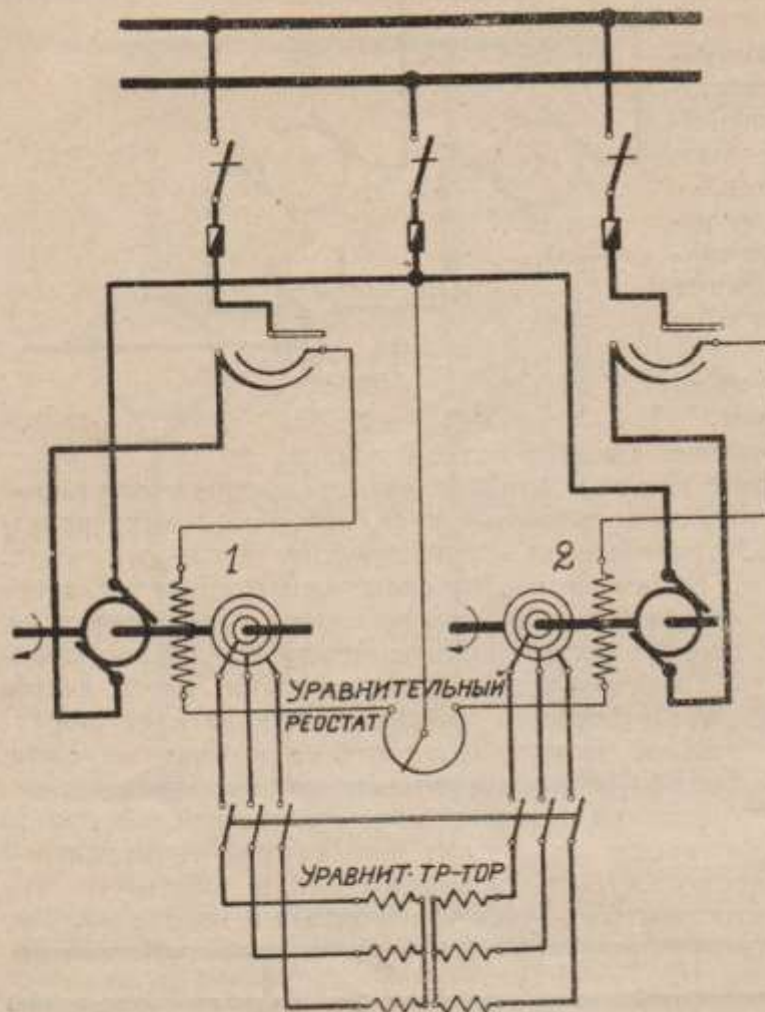


Фиг. 7.

Фирма „А. Е. G.“ решает проблему параллельной работы шунтовых моторов совершенно иным путем (см. фиг. 7). Оба мотора, помимо главных шунтовых обмоток *c* и *d*, снабжены еще вспомогательными обмотками *f* и *e*, питаемыми от вспомогательной динамо *g*. Как видно из схемы, возбуждение вспомогательной динамо производится разностью рабочих токов обоих моторов. Если нагрузки моторов одинаковы, динамо *g* не посылает вовсе тока в дополнительные обмотки *f* и *e*. Когда же имеется

разность токов (нагрузки неравны), то одна из обмоток *f* или *e* усиливает главное поле одного мотора, а другая соответственно уменьшает поле второго мотора. Конечно, для возбуждения динамо можно пользоваться неполным рабочим током мотора, а отводить лишь часть его при помощи шунта.

Наконец, для достижения абсолютно синхронного вращения двух моторов постоянного тока, не соединенных непосредственно между собой и даже несущих разные нагрузки, предложено было снабжать эти моторы, помимо коллектора, тремя контактными кольцами, — с другой стороны, которые соединяются с точками обмотки, сдвинутыми на 120 электрических гра-



Фиг. 8.

дусов (на подобие одноякорного преобразователя). Контактные кольца обоих моторов связываются уравнительными проводами\*). Для предохранения цепи постоянного тока от коротких замыканий, могущих произойти при некотором положении якорей моторов через уравнительные провода, в последние включается трансформатор с передаточным отношением 1:1. На фиг. 8 приведена принципиальная схема соединений двух моторов с уравнительными проводами, в том виде, как ее применяет фирма „Bergmann Elektrizitäts-Werke“.

Основываясь на практике параллельной работы на один вал моторов постоянного тока, были разработаны соответствующие схемы и для асин-

\*) В СССР подобная схема недавно была исследована проф. К. И. Шенфером (см. брош. „О новом способе соединения электродвигателей пост. тока“. Москва, 1921).

*хронных моторов трехфазного тока.* Здесь могут встретиться оба вышеуказанных типа привода „а“ и „б“. Как было уже выяснено на стр. 10, нагрузка на оба мотора будет распределяться тем более равномерно, чем больше их электрическое скольжение. Поэтому для моторов с контактными кольцами вообще удобно иметь невыключаемые сопротивления в цепи якорей (реостаты) для соответствующего выравнивания нагрузки, однако, такой способ является неэкономным.

В приводах группы „б“ оба статора моторов включаются на сеть параллельно; точно также могут быть включены параллельно и оба ротора на общий пусковой или регулировочный реостат; последний в этом случае *рассчитывается по сумме мощностей* обоих моторов. Подобная схема встречается часто в крановых устройствах и в электровозах. Однако, применение ее требует большой осторожности, так как при пуске моторов в ход в сети могут появляться большие толчки тока. Дело в том, что, при выключении не связанных между собой жестко моторов, их роторы могут остановиться в разном положении по отношению к статору, в смысле их *фазности*. В таких случаях при последующем пуске в ход моторов с параллельно соединенными роторами в сети возникают толчки тока, которые длятся до тех пор, пока моторы не придут во вращение.

Для двух асинхронных моторов, *жестко связанных* на общем валу с рабочей машиной, рекомендуется для каждого ротора иметь *отдельный* реостат, чем избегаются уравнивающие токи между фазами роторов. Обычно оба ротора имеют отдельные сопротивления с общим контроллером к ним. При таком устройстве на одном валу могут находиться моторы и неодинаковой мощности.

*Инж. Л. Б. Гейлер.*