

2.6. Регулирование скорости асинхронной машины

При регулировании скорости **Асинхронного мотора** из всех возможных способов регулирования используется управление по частотной зависимости подаваемого напряжения. **Напряжение, подводимое к мотору, изменяется, например, по закону $U = f(f)$, это и есть закон регулирования скорости асинхронного двигателя.** В самом простом случае отношение напряжения и частоты, $U / f = \text{const}$, поддерживается постоянной величиной.

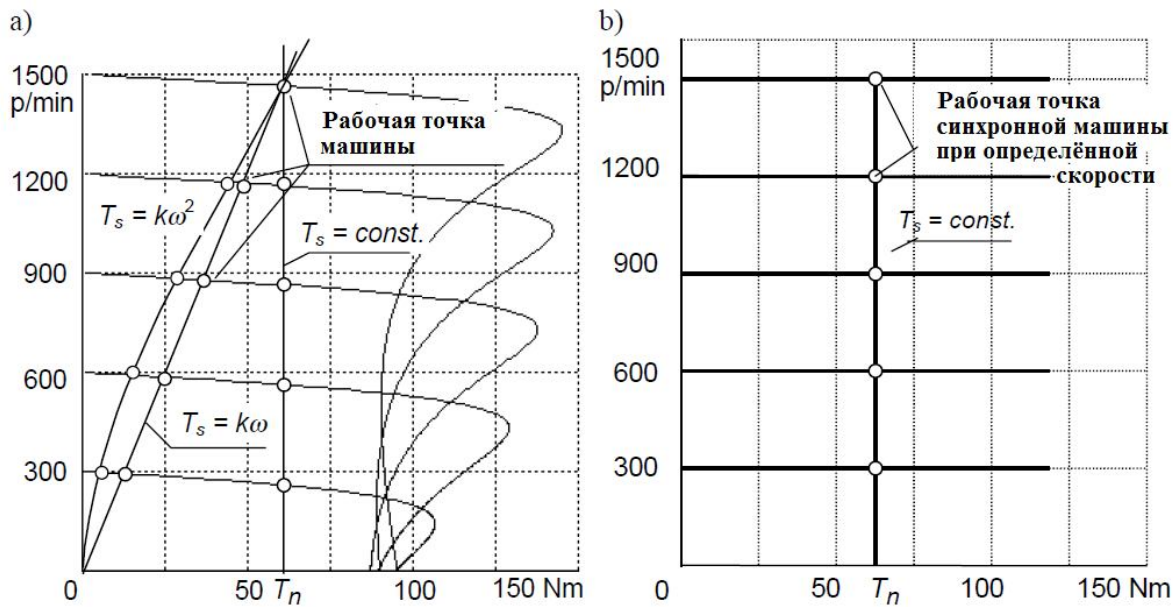


Рис. 2.9. Регулирование скорости машины переменного тока а) регулирование скорости асинхронной машины по линейной частотной зависимости подаваемого напряжения ($U / f = \text{const.}$); б) частотное регулирование скорости синхронной машины

При уменьшении частоты начинает уменьшаться максимальный момент мотора при меньших скоростях, а также увеличивается скольжение.

$$\omega = \omega_s(1 - s)$$

На рис.2.10 показаны механические характеристики асинхронной машины, в случае, если скорость регулируется по линейной частотной зависимости $U / f = \text{const}$ приложенного напряжения. **В этом случае на 1/3 уменьшается максимальный момент при меньших скоростях.** Рабочие точки мотора показаны при постоянном моменте $T = \text{const}$, при линейно изменяющемся моменте $T = k\omega$, при нагрузочном моменте, который изменяется по квадратичной функции (при управлении вентилятором).

Заключение: по линейной частотной зависимости напряжения $U / f = \text{const}$ целесообразно проводить регулирование, если нагрузочный момент мотора при меньших скоростях тоже уменьшается. Очевидно, что при частотном регулировании закономерность частотного регулирования напряжения машины напрямую зависит от вида нагрузочной характеристики. **При постоянном нагрузочном моменте стараются обычно поддерживать постоянным максимальный момент мотора. Выбором подходящей закономерности регулировочного напряжения добиваются поддержания момента постоянным в пределах регулирования.** Также обеспечивается и приблизительно одинаковая кратковременная перегрузка мотора при

конкретной скорости. При определённых нагрузках приходится для оптимальной работы мотора прикладывать также различные частотные закономерности прикладываемого напряжения. Отметим, если частотным регулированием достигается необходимая скорость вращения мотора, то регулированием напряжения достигаются оптимальные энергетические показатели мотора.

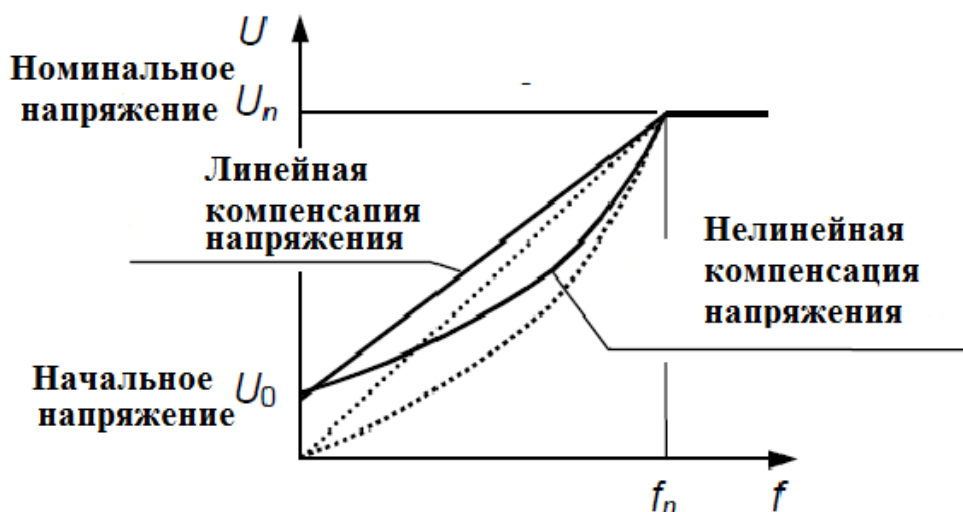


Рис. 2.10. Зависимость напряжения от частоты при частотном регулировании асинхронного двигателя

В частотных регуляторах используется в случае постоянного нагрузочного момента компенсированная начальным напряжением (U_0) линейная закономерность ($T_k = k\omega^2$) для вентиляторной нагрузки, но нелинейная с квадратичной зависимостью функция регулирования напряжения (рис. 2.10). **В зависимости от нагрузочной характеристики обе зависимости можно применять комбинированно.** Также можно начальное (U_0) напряжение автоматически регулировать в течении работы частотного регулятора.

Скорость синхронного двигателя также регулируется по частотному принципу. Так как ротор синхронной машины вращается синхронно (с той же скоростью) с магнитным полем статора, то его **механические характеристики выглядят как горизонтальные прямые** (рис 2.9, б). При уменьшении частоты рабочая характеристика машины спадает, при увеличении однако возрастает.

Интересно отметить, что с помощью особых современных методов можно получить от приводов синхронных машин характеристики, схожие с характеристиками, присущими машинам постоянного тока. А именно, если в качестве питания статорной обмотки использовать полупроводниковый преобразователь и коммутировать ток обмоток не с постоянной частотой (как в случае с прямым подключением к сети), а в зависимости от угла поворота ротора, то изменяются рабочие характеристики синхронной машины также, как рабочие характеристики машины постоянного тока. **Отличие состоит только в том, что вместо механического коммутатора используется полупроводниковый коммутатор, а также угол поворота ротора определяется отдельным датчиком.** В таком случае речь идёт о моторе, который имеет электронный коммутатор

(*electronically commutated motor*) или о безщёточном моторе постоянного тока (*brush-less DC motor*). Такие моторы используются сейчас очень широко в промышленных роботах или приводах станков.

2.7. Динамические модели машин постоянного тока

Распространённой моделью мотора постоянного тока по своей сути является **модель машины с одним бесконечно длинным полюсом**, где не учитывается, что действительно обмотка ротора перемещается между полюсами, а направление тока приходится менять. Это означает, что рассматриваемая модель не описывает работу коммутатора и щёток или работу полупроводникового коммутатора. Модель не описывает, почему ротор и вал вращаются. Говоря о машинах постоянного тока, забывается также и то, что по обмотке якоря протекает переменный ток.

Если поток возбуждения Φ охватывает обмотку якоря с током, возникает сила F , действующая на обмотку. Касательный компонент силы F_m обеспечивает вращающий момент мотора $T_m = F_m r$. Так как сила $F_m = F \cos \alpha$ зависит от угла поворота якоря, то при условии $\alpha = 90^\circ$ сила $F_m = 0$, а затем становится отрицательной. **Чтобы вращение продолжалось, нужно поменять направление тока в обмотке.** В обычных машинах постоянного тока эту задачу выполняют коммутаторы, которые состоят из ламелей, соединённых с якорем, и скользящих по ним щёток. Эту же задачу может решить полупроводниковый коммутатор, которые переключают направление тока в зависимости от угла поворота якоря. Для определения угла поворота якоря используется датчик угла поворота.

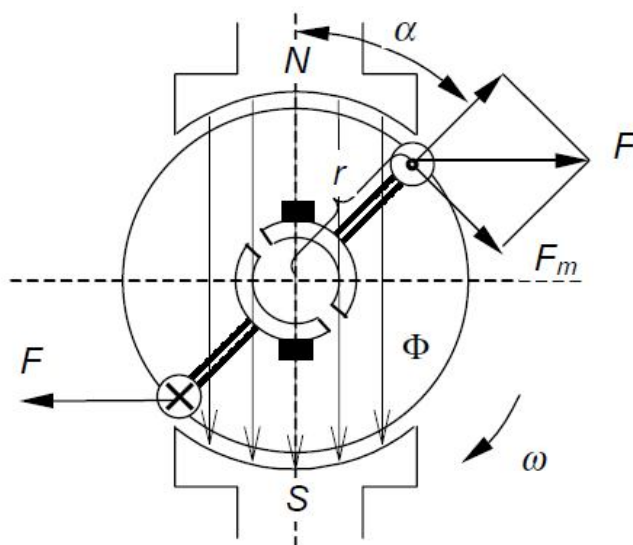


Рис. 2.11. Принцип работы коммутатора машины постоянного тока

Динамику моторов постоянного тока описывают следующие дифференциальные уравнения:

$$\begin{aligned}
 u &= (U_m - k_m \Phi \omega) \cdot \operatorname{sgn}(\cos(\alpha + \alpha_h)) \\
 \frac{di}{dt} &= \frac{1}{L} (u - iR) \\
 \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{J} (k_m \Phi i \cdot \cos \alpha)
 \end{aligned} \tag{2.22}$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega$$

В Уравнении U_m обозначает напряжение питания мотора (постоянное напряжение), u -напряжение, подаваемое к обмоткам (переменное напряжение), α -угол поворота якоря, α_h -смещение щёток коммутатора относительно нейтральной линии, k_m -коэффициент, характеризующий конструкцию мотора (число полюсов, число щёток), R - активное сопротивление обмотки якоря, L -индуктивное сопротивление обмотки якоря, J - момент инерции вращающихся частей машины, ω -скорость вращения, Φ -поток возбуждения. По уравнениям (2.22) рассчитывают изменение тока и скорости в процессе работы машины.

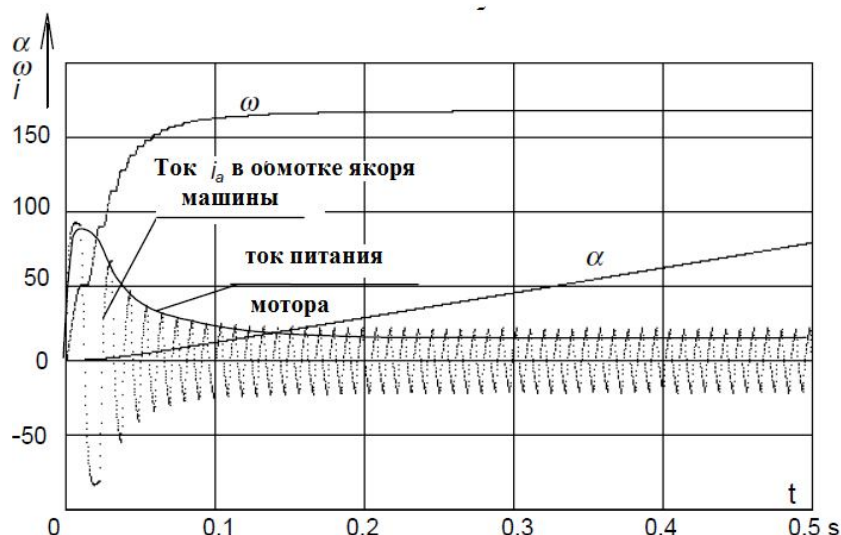


Рис.2.12 Процесс работы машины постоянного тока (запуск)

Динамические модели асинхронных машин используются в современных приводах векторного управления. Эти модели существенно сложнее, поэтому в учебном курсе не рассматриваются. Материал относительно векторного управления можно найти в книге *Asünkroonajamite sagedusjuhtimine* [11]. На рисунке 2.13 представлен график, объясняющий работу асинхронного двигателя, рассчитанный по уравнениям динамической модели. Сравнивая этот график с графиком, объясняющим работу машины постоянного тока, можно отметить, что **процессы в двух машинах очень похожи.** Из этого следует, что **принципы работы различных машин одинаковы.**

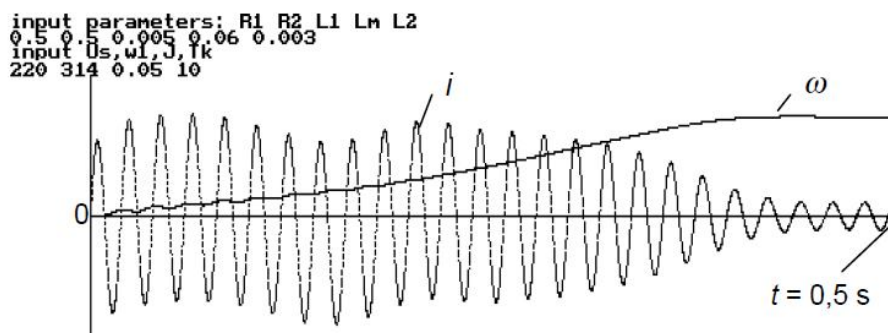


Рис. 2.13. Режим пуска асинхронной машины, рассчитанный по динамической модели

Режим пуска маломощных и средней мощности машин длится от долей секунд до единиц секунд. Поэтому разрешается допустить существенное превышение тока в процессе пуска, а именно $I_k = 3 \dots 6 I_n$. Для машин мощностью больше средней (от десятков kW до MW) из-за режима форсирования мощности при пуске происходит падение напряжения в сети. Поэтому для таких машин необходимо использование полупроводниковых преобразователей как для плавного пуска, так и для регулирования скорости.