

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ В ЭЛЕКТРОМАШИННОМ УСИЛИТЕЛЕ РЕГУЛИРУЕМОЙ ЧАСТОТЫ С УЧЕТОМ СХЕМЫ УПРАВЛЯЕМОГО ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО КОММУТАТОРА

Ш. С. Ройз, А. И. Скороспешкин, Э. Ф. Оберган

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

Анализ энергетических соотношений в электромашинном усилителе регулируемой частоты следует проводить с учетом работы УПК. В [1] приведена схема электромашинного усилителя регулируемой частоты (схема УПК представлена лишь полупроводниковыми ячейками и обратными диодами). Как указывалось в [1], наличие обратных диодов положительно сказывается на работе УПК, уменьшая коммутационные перенапряжения на элементах и разгружая ключи.

При отсутствии обратных диодов D_1, D_2, \dots, D_6 в схеме УПК часть мощности ротора, в режимах холостого хода или неполной нагрузки усилителя, не может быть передана в питающую сеть постоянного тока, так как транзисторные ключи T_1, T_2, \dots, T_6 не пропускают активную мощность в этом направлении. Более того, переданная мощность на вход усилителя выделяется в виде потерь, дополнительно нагружая обмотку управления.

Наличие обратных диодов в схеме УПК позволяет осуществить передачу мощности в сеть постоянного тока (режим холостого хода или неполной нагрузки усилителя), что приводит к уменьшению мощности входа и повышению коэффициента усиления.

Энергетические соотношения в бесконтактном исполнении усилителя в значительной мере зависят от режима работы дополнительного каскада. Рассмотрим несколько типичных режимов работы усилителя.

Режим 1. Бесконтактное исполнение усилителя. Дополнительный каскад работает в режиме двигателя. Обратные диоды в схеме УПК отсутствуют.

Электромагнитная выходная мощность усилителя при номинальной нагрузке равна

$$P_{\psi 2} = P_{m1} - P_{\psi 3},$$

где

$P_{\psi 2}$ — электромагнитная мощность обмотки W_2 ,

P_{m1} — механическая мощность на валу основного каскада,

$P_{\psi 3}$ — электромагнитная мощность обмотки W_3 .

Для дополнительного каскада, работающего в режиме двигателя, справедливо выражение

$$P_{\psi 3} = P_{\psi 4} = P_{m2} + P_{\psi 5}, \quad (2)$$

где

$P_{\psi 4}$ — электромагнитная мощность обмотки W_4 ,

P_{m2} — механическая мощность на валу дополнительного каскада,

$P_{\psi 5}$ — электромагнитная мощность обмотки W_5 .

С учетом (2), выходная электромагнитная мощность обмотки равна

$$P_{\psi 2} = P_{m1} - P_{m2} - P_{\psi 5}. \quad (3)$$

Энергетическая диаграмма данного режима приведена на рис. 1, а. Мощность обмотки управления P_{ou} на рисунке означает мощность, требующуюся для создания магнитного потока в воздушном зазоре, основного каскада, а также для компенсации реактивных мощностей ротора и нагрузки. Реактивная мощность Q_{ou} — есть преобразованная мощность P_{ou} , потребляемая из сети постоянного тока.

При работе усилителя в режиме холостого хода или неполной нагрузки мощность обмотки управления составляет

$$P_y = P_{ou} + P', \quad (4)$$

где P' — часть мощности ротора, идущей на вход усилителя.

Энергетическая диаграмма, соответствующая данному режиму, представлена на рис. 1, б. Мощность P' и $P_{\psi 2}'$ на энергетической диаграмме — есть составляющие мощности выхода $P_{\psi 2}$.

Величина их определяется параметрами обмоток усилителя, нагрузки и частотой управления.

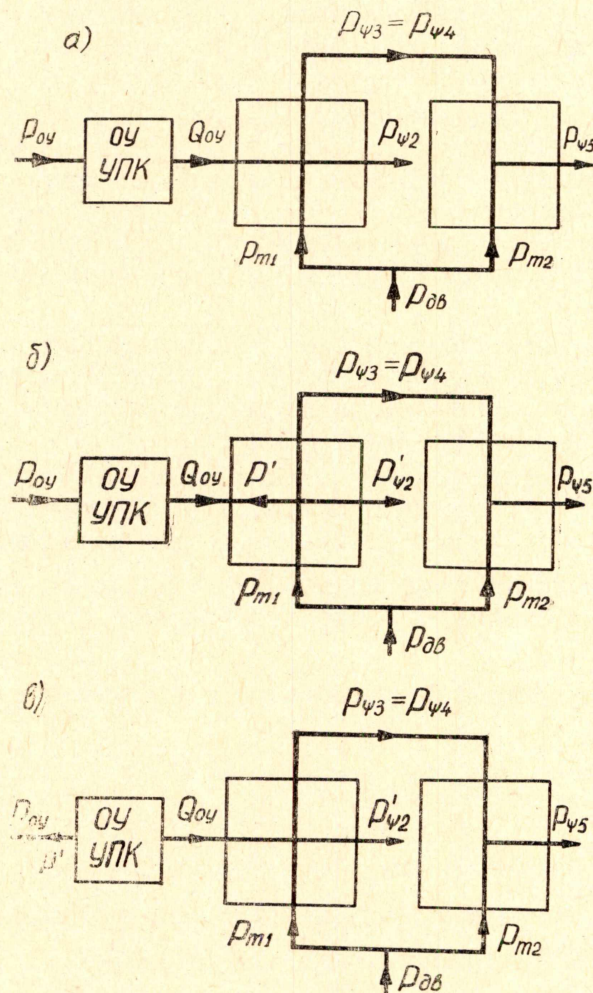


Рис. 1. Энергетические диаграммы бесконтактного усилителя. Дополнительный каскад работает в режиме двигателя

Таким образом, рассматривая энергетические соотношения в бесконтактном ЭМУ регулируемой частоты и схемы УПК без обратных диодов, можно заключить:

1. Дополнительный каскад при работе в двигательном режиме возвращает механическую мощность на вал приводного двигателя, что существенно повышает к.п.д. усилителя.

2. Отсутствие обратных диодов в схеме УПК при холостом ходе усилителя или неполной нагрузки вызывает дополнительные потери в обмотке управления.

Режим 2. Бесконтактное исполнение усилителя. Дополнительный каскад работает в режиме двигателя. Обратные диоды в схеме УПК присутствуют.

Энергетические соотношения в усилителе при номинальной нагрузке остаются такими же, что и в режиме 1 (рис. 1, а).

При работе усилителя в режиме холостого хода или неполной нагрузки мощность управления равна

$$P_y = P_{oy} - P' \quad (5)$$

Энергетическая диаграмма данного режима работы приведена на рис. 1, в. Анализ энергетических соотношений показывает, что наличие обратных диодов в схеме УПК позволяет уменьшить мощность входа (режим холостого хода или неполной нагрузки) и исключить дополнительные потери в обмотке управления.

Режим 3. Бесконтактное исполнение усилителя.

Дополнительный каскад работает в режиме асинхронного преобразователя частоты. Обратные диоды в схеме УПК отсутствуют.

Электромагнитная мощность выхода при номинальной нагрузке равна

$$P_{\psi 2} = P_{m1} - P_{\psi 3} = P_{m1} + P_{m2} - P_{\psi 5}, \quad (6)$$

где

$$P_{\psi 3} = P_{\psi 4} = P_{\psi 5} - P_{m2}.$$

Энергетическая диаграмма, соответствующая данному режиму, приведена на рис. 2, а. Мощность управления в этом режиме равна P_{oy} . При работе усилителя в режиме холостого хода или неполной нагрузке, мощность управления подсчитывается по выражению (4). Энергетическая диаграмма данного режима представлена на рис. 2, б.

Таким образом, рассматривая работу усилителя в данном режиме, можно сделать следующие выводы:

1. При работе дополнительного каскада в режиме асинхронного преобразователя частоты в обмотках усилителя возникают дополнительные потери, что снижает к.п.д. усилителя.

2. Отсутствие обратных диодов в данном режиме производит аналогичное действие, как и в режиме 1.

Режим 4. Бесконтактное исполнение усилителя. Дополнительный каскад работает в режиме асинхронного преобразователя частоты. Обратные диоды в схеме УПК присутствуют.

Энергетические соотношения при номинальной нагрузке остаются такими же, что и в режиме 3 (рис. 2, а).

При работе усилителя в режиме холостого хода или неполной нагрузке мощность управления определяется по выражению (5). Энергетическая диаграмма представлена на рис. 2, в.

Таким образом, анализ энергетических соотношений в бесконтактном исполнении усилителя показывает, что наиболее приемлемым режимом дополнительного каскада является двигательный режим. Что касается схемы УПК, то предпочтение отдается УПК с обратными диодами.

Для этого режима работы дополнительного каскада (двигательно-

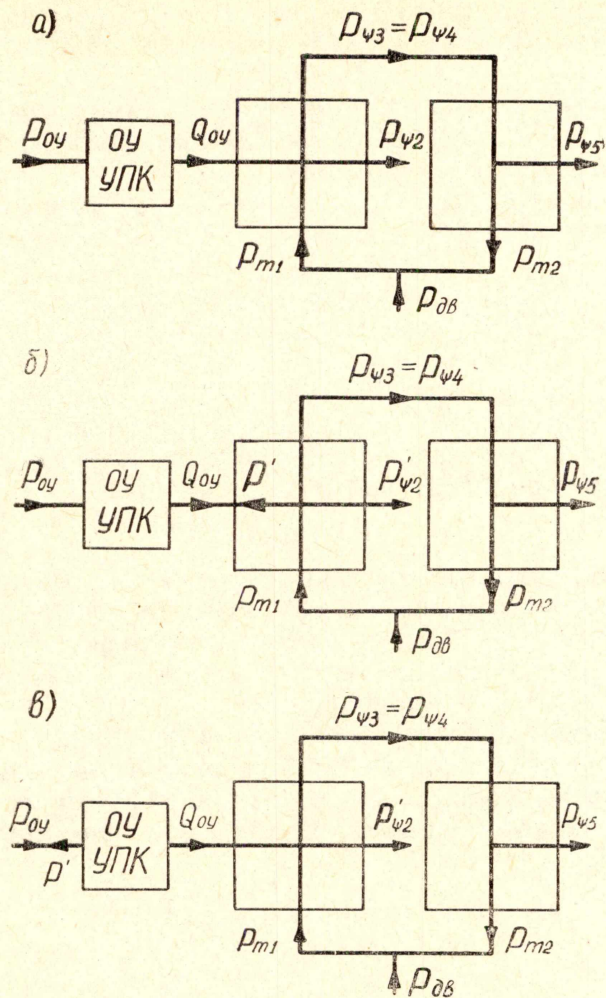


Рис. 2. Энергетические диаграммы бесконтактного усилителя. Дополнительный каскад работает в режиме асинхронного преобразователя частоты

го) была подсчитана мощность управления при наличии и отсутствии обратных диодов в схеме УПК в режиме холостого хода усилителя. Результаты расчета приведены в табл. 1.

Таблица 1.

Расчет	Опыт	Примечание
320	300	$U_y = 15$ в, $f_y = 140$ гц, обратные диоды в схеме УПК отсутствуют
54	45	$U_y = 15$ в, $f_y = 140$ гц, обратные диоды в схеме УПК присутствуют

Как видно из таблицы, опытные значения близки к расчетным. Мощности управления при наличии и отсутствии обратных диодов отличаются значительно.

В контактном исполнении (дополнительный каскад отсутствует) наиболее характерным режимом работы основного каскада является режим асинхронного генератора.

Электромагнитная мощность выхода при номинальной нагрузке определяется по выражению (1), а энергетическая диаграмма приведена на рис. 3, а. Учет влияния обратных диодов на энергетические соотношения в усилителе производится аналогичным образом, как и в бесконтактном исполнении.

Кроме режима асинхронного генератора основного каскада, усилитель может работать в режиме двигателя (обмотка W_2 — разомкнута, момент на валу приводного двигателя отсутствует) и преобразователя (обмотка W_3 — разомкнута).

Момент на валу усилителя при работе в двигательном режиме создается за счет УПК. Энергетическая диаграмма, соответствующая двигательному режиму, приведена на рис. 3, б.

Мощность P на рисунке означает требуемую мощность для создания момента на валу усилителя и покрытия потерь в обмотке ротора W_3 .

Мощность выхода в преобразовательном режиме создается также за счет УПК. Энергетическая диаграмма, соответствующая преобразовательному режиму, представлена на рис. 3, в.

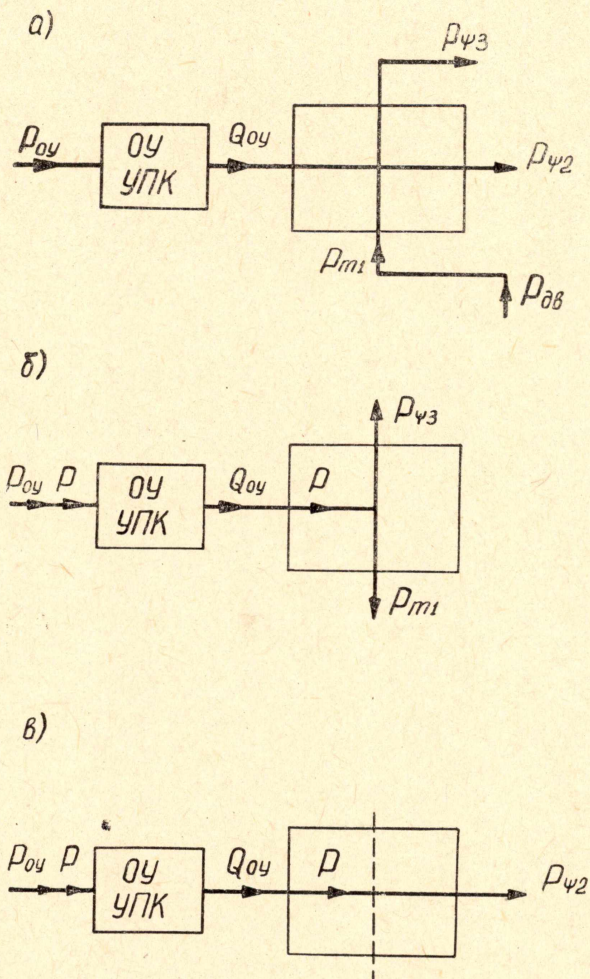


Рис. 3. Энергетические диаграммы контактного усилителя

Мощность P на рисунке означает требуемую мощность, необходимую для создания мощности выхода $P_{\psi 2}$.

В результате работы можно сформулировать следующие выводы:

1. Проведен анализ энергетических соотношений в бесконтактном исполнении усилителя. Установлен наиболее целесообразный режим работы дополнительного каскада (режим двигателя).

2. Проведен анализ энергетических соотношений в контактном исполнении усилителя. Установлены возможные режимы его работы (режим асинхронного генератора, двигателя, преобразователя).

3. Показано влияние схемы УПК на энергетические соотношения в усилителе. Установлено, что наиболее приемлемой схемой УПК является УПК с обратными диодами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ш. С. Ройз, А. И. Скороспешкин. Теоретическое исследование электромашинного усилителя регулируемой частоты с учетом управляемого полупроводникового коммутатора. «Известия ТПИ», том 212, в настоящем сборнике.
