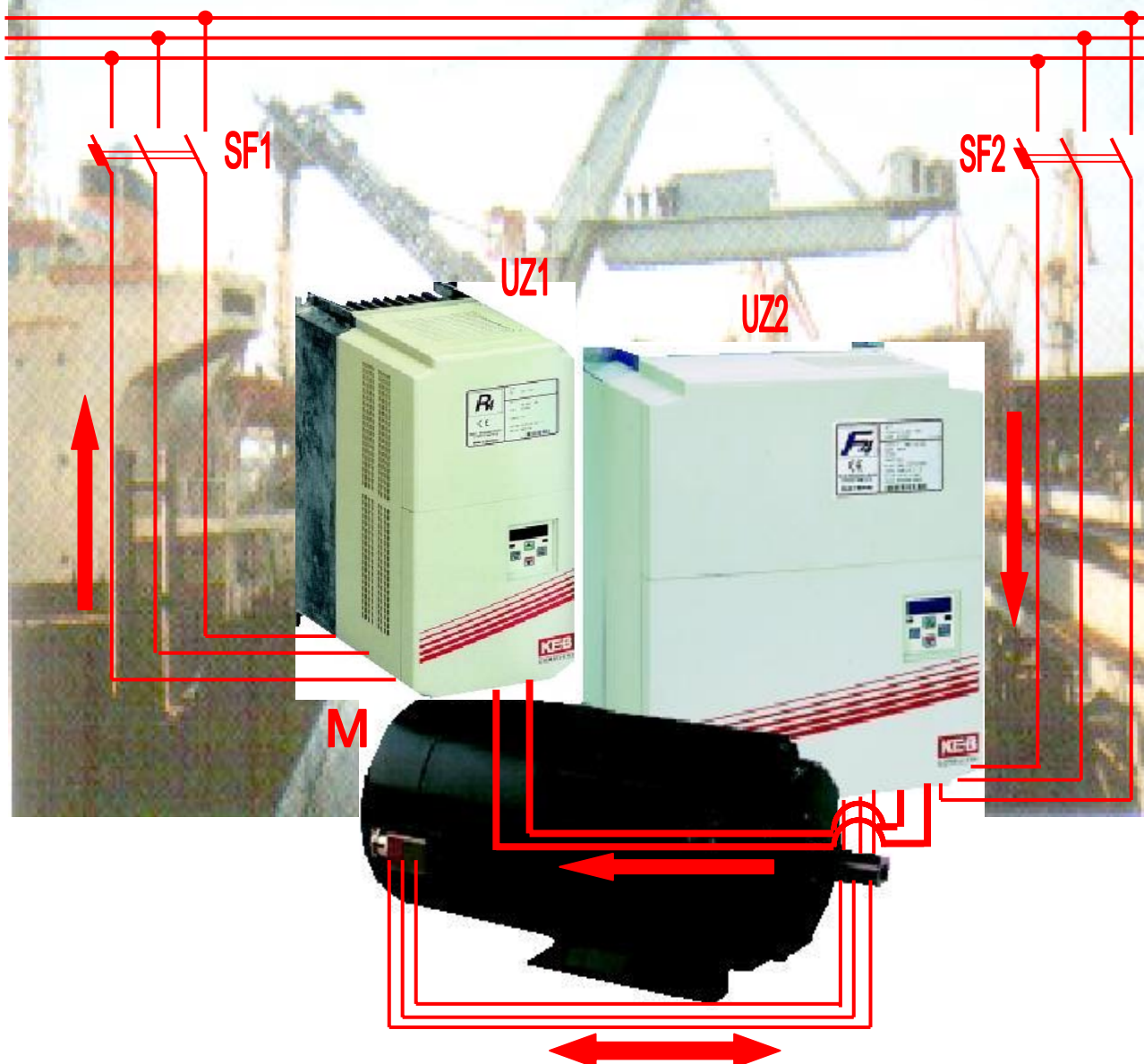


СИСТЕМЫ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РЕКУПЕРАЦИЕЙ ЭНЕРГИИ



*Модули рекуперации энергии
KEV COMBIVERT R4*

● Пример выбора устройства рекуперации энергии

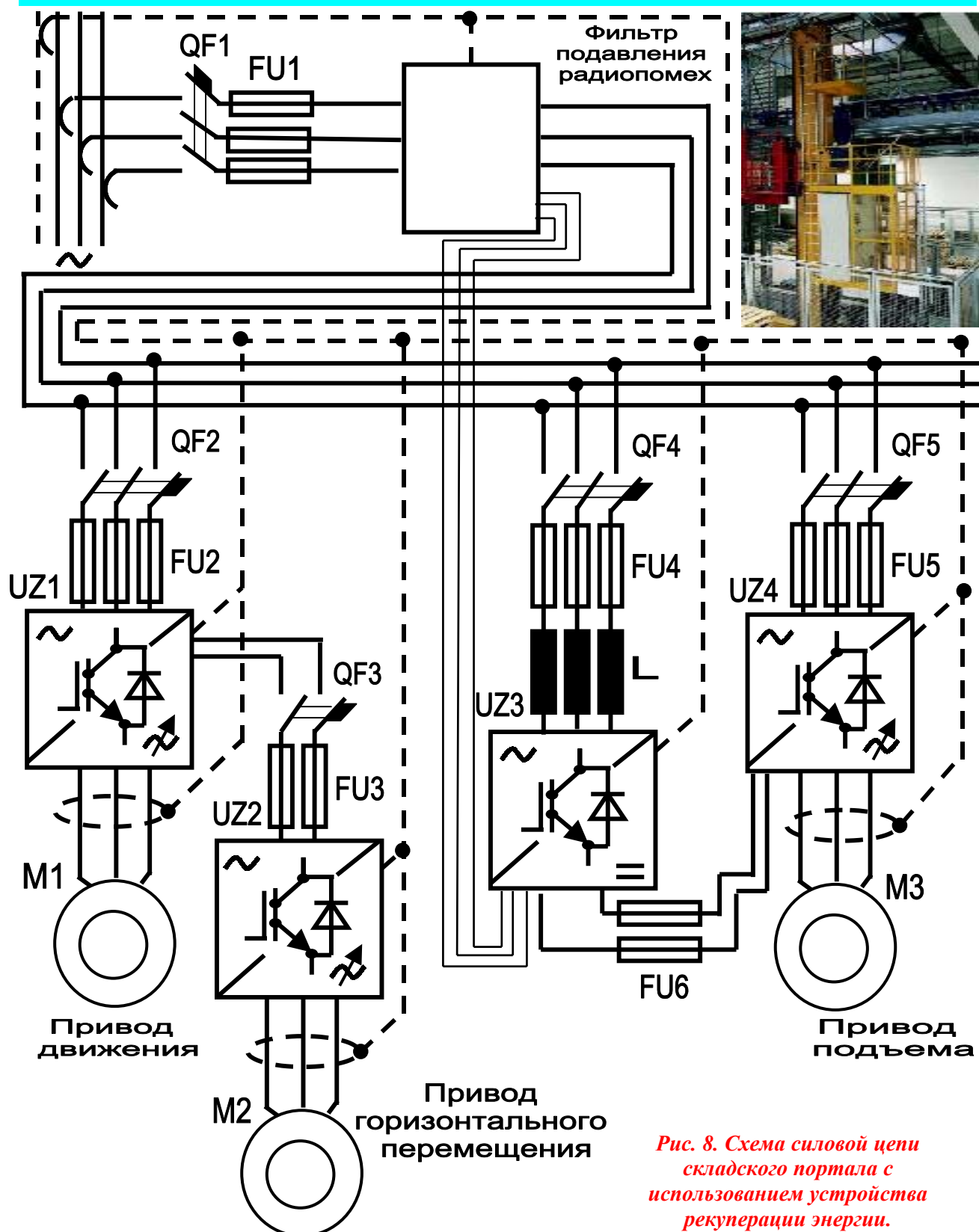


Рис. 8. Схема силовой цепи складского портала с использованием устройства рекуперации энергии.



Рассмотрим работу электропривода складского портала, схема силовой цепи которого приведена на рис. 8. Складской портал имеет три привода: привод движения портала (М1), привод горизонтального перемещения портала (М2) и привод подъема (М3). Все три электропривода оснащены преобразователями частоты KEB COMBIVERT F4-F (UZ1, UZ2 и UZ4). В приводе подъема при движении «на спуск» возможно получить генераторный режим работы электродвигателя. Энергия, получаемая в генераторном режиме, может быть рекуперирована в питающую сеть с помощью устройства рекуперации KEB COMBIVERT R4-S (UZ3) и использована для питания приводов движения портала и горизонтального перемещения при их одновременной работе, что ведет к уменьшению потребления электроэнергии всей установкой в целом.

Исходные данные для выбора устройства рекуперации:
Требуемая мощность электродвигателя подъема: $P_{тр.п.}=42$ кВт.
Данные выбранного преобразователя частоты:

$P_{пч.}=45$ кВт, $I_{пч}=90$ А.

Заказной номер инвертора: 21. F4. F0R – 3440.

Коэффициент генерации электродвигателя: $\eta_G=0,8$

Требуемая мощность устройства рекуперации:

$P_p=P_{тр.п.} \times \eta_G^2=42 \times 0,8^2=26,9$ кВт

Выбираем по каталогу: заказной номер устройства рекуперации:
18. R4. S0G – 3401, $S_{R4}=31$ кВА, $P_{R4}=27$ кВт.

Коммутационный токоограничивающий реактор:
00.90.293 – 1341.

Фильтр подавления радиопомех: 22. R4. T60 – 1019.



● Технические характеристики устройств рекуперации **КЕВ COMBIVERT R4-F/R4-S**

Энергетические характеристики

Заказной номер	14.R4.S0G — 3401	18.R4.S0G — 3401	22.R4.S0R — 3401	16.R4.F0G — 3440	21.R4.F0R — 3440
Параметр	Характеристика				
1	2	3	4	5	6
Напряжение питания U _{пит} , В	~ 305 ... 504 В			~ 305 ... 440 В	
Частота питающей сети f _{пит} , Гц	50 – 60 Гц +/- 2 Гц				
Число фаз	3				
Номинальная мощность в режиме рекуперации, S _{ном} /P _{ном} , кВА/кВт	<u>13 кВА</u> 11 кВт	<u>31 кВА</u> 27 кВт	<u>83 кВА</u> 70 кВт	23 кВА	62 кВА
Максимальная мощность в режиме рекуперации, S _{ном} /P _{ном} , кВА/кВт	<u>19 кВА</u> 16,5 кВт	<u>45 кВА</u> 39 кВт	<u>120 кВА</u> 100 кВт	37,5 кВА	93 кВА
Номинальный ток в режиме рекуперации, I _{ном} , А	19 А	45 А	120 А	33 А	90 А
Максимальный ток в режиме рекуперации, I _{мах} , А	27 А	65 А	173 А	49,5 А	135 А
Максимальный пиковый ток в режиме рекуперации, I _{мах П} , А	31 А	72 А	192 А	93,3 А	162 А
Максимальный ток в звене постоянного тока (< 1 мин), I _{мах ЗПТ} , А	43 А	65 А	170 А	-----	-----

● Технические характеристики устройств рекуперации **КЕВ COMBIVERT R4-F/R4-S**

Характеристики управления

Заказной номер	14.R4.S0G — 3401	18.R4.S0G — 3401	22.R4.S0R — 3401	16.R4.F0G — 3440	21.R4.F0R — 3440
Параметр	Характеристика				
1	2	3	4	5	6
Коэффициент мощности	0,86			1	
Напряжение питания цифровых входов, U _{dig} , В	= 13 ... 30 В				
Напряжение внутреннего источника питания, U _{out} , В	= 18 В				
Выходной максимальный ток внутреннего источника питания, I _{out} , мА	300 мА				
Напряжение внешнего источника напряжения, U _{in} , В	= 24 В -10%; +25%				

Дополнительные характеристики

Заказной номер	14.R4.S0G — 3401	18.R4.S0G — 3401	22.R4.S0R — 3401	16.R4.F0G — 3440	21.R4.F0R — 3440
Параметр	Характеристика				
1	2	3	4	5	6
Рабочая температура, T_p , °C	- 10 ... + 45 °C				
Температурный запас (максимальная температура), T_3 , °C	- 25 ... + 70 °C				
Относительная влажность (без конденсата)	max 95 %				

● Технические характеристики устройств рекуперации **КЕВ COMBIVERT R4-F/R4-S**

Заказной номер	14.R4.S0G – 3401	18.R4.S0G – 3401	22.R4.S0R – 3401	16.R4.F0G – 3440	21.R4.F0R – 3440
Параметр	Характеристика				
1	2	3	4	5	6
Марка и рекомендуемое сечение кабелей подключения	AWG 12 4 мм ²	AWG 8 10 мм ²	AWG 1 50 мм ²	AWG 8 10 мм ²	AWG 1 50 мм ²
Марка и рекомендуемое сечение кабелей подключения в звене постоянного тока	AWG 8 10 мм ²	AWG6 16 мм ²	AWG 1/0 70 мм ²	AWG6 16 мм ²	AWG 1/0 70 мм ²
Габаритные размеры модуля, А x В x С, мм	170 x 340 x 255		340 x 520 x 350	170 x 340 x 255	340 x 520 x 350
Рекомендуемый ток уставки для выбора входного плавкого предохранителя (Обязателен класс gL), I _{ср. пред.} , А	25 А	63 А	160 А	63 А	160 А
Рекомендуемый ток уставки для выбора выходного плавкого предохранителя звена постоянного тока (Обязателен класс gR), I _{ср. пред. ЗПТ} , А	63 А	100 А	250 А	100 А	250 А
Ток утечки, I _{ут.} , мА	ca. 10 мА		ca. 30мА	17 мА	50 мА
Степень защиты от попаданий посторонних предметов и влаги	IP 20				
Коэффициент полезного действия	> 98 %				

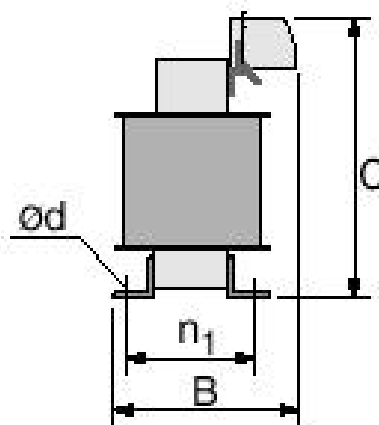
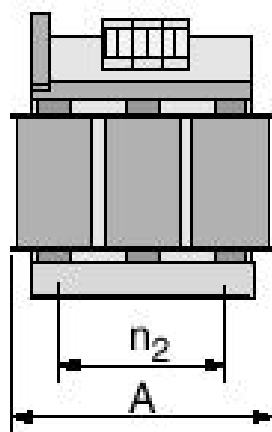
● Технические характеристики устройств рекуперации **KEB COMBIVERT R4-F/R4-S**

Дополнительное оборудование

Заказной номер модуля рекуперации	14.R4.S0G — 3401	18.R4.S0G — 3401	22.R4.S0R — 3401	16.R4.F0G — 3440	21.R4.F0R — 3440
Заказной номер оборудования					
1	2	3	4	5	6
Заказ с коммутационным токоограничивающим реактором					
	00.90.292 - 1449	00.90.293 - 1341	00.90.296 - 4559	16.DR.R08 - 2250	21.DR.R08 — 8540
Заказ с фильтром подавления радиопомех					
В соответствии со стандартами EN 55011/61800 – 3 signal operation	14.R4.T60- 1019	16.R4.T60- 1019	22.R4.T60- 1019	16.E4.T60- 1001	19.E4.T60- 1001
Фильтр в соответствии со стандартами EN 55011/61800 – 3 parallel operation	18.R4.T60- 1019	21.R4.T60- 1019	25.R4.T60- 1019	-----	-----

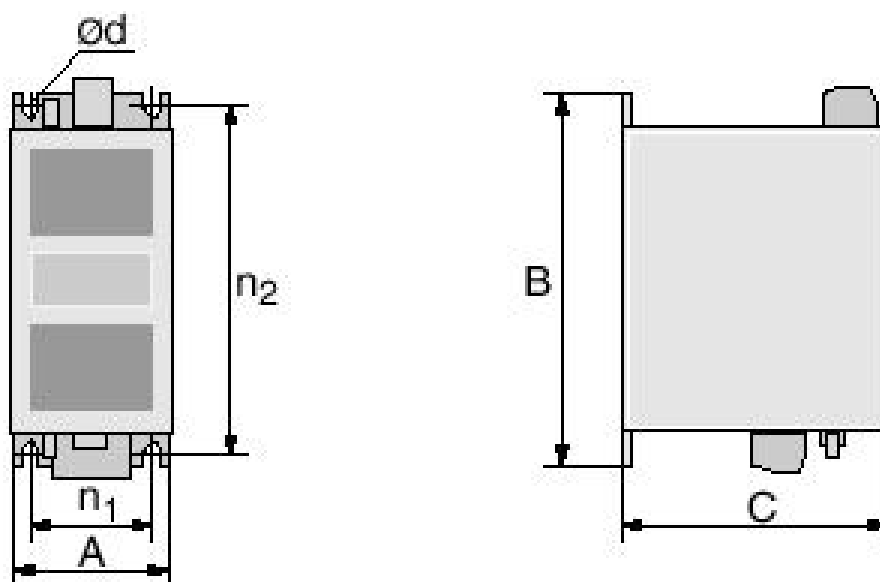
● Дополнительное оборудование к устройствам рекуперации **KEB COMBIVERT R4-F/R4-S**

Коммутационные токоограничивающие реакторы



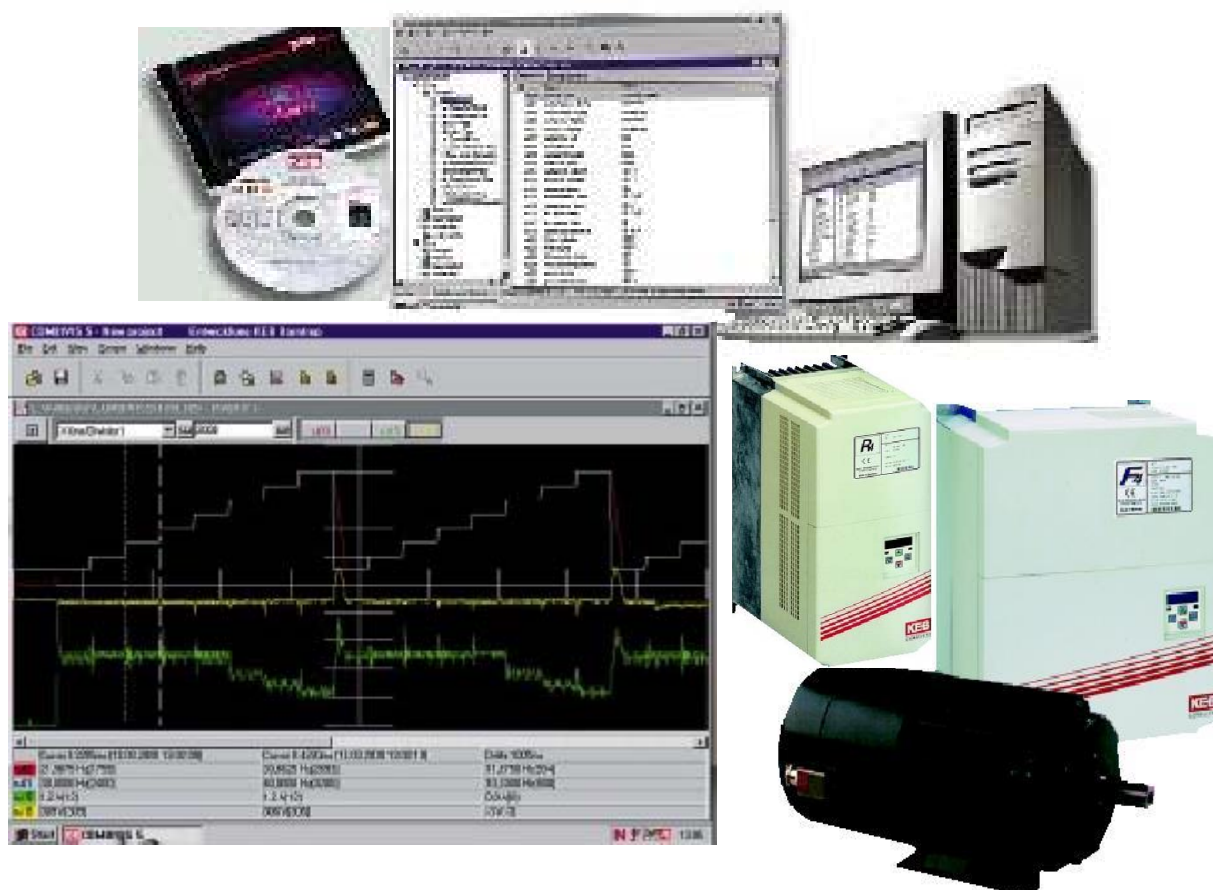
Заказной номер	A	B	C	n ₁	n ₂	Ø d
00.90.292 – 1449	170	85	150	52	113	5,5
00.90.293 - 1341	230	149	230	122	180	6,5
00.90.296 – 4559	353	220	145	144	382	6,5
16.DR.R08 – 2250	---	---	---	---	---	---
21.DR.R08 – 8540	---	---	---	---	---	---

Фильтры подавления радиопомех



Заказной номер	A	B	C	n ₁	n ₂	Ø d
14.R4.T60-1019	80	340	200	50	320	6,5
16.E4.T60-1001	181	415	56	150	400	7,0
18.R4.T60-1019	120	340	230	100	320	6,5
19.E4.T60-1001	300	445	66	250	420	7,0
21.R4.T60-1019	141	460	234	100	450	6,5
22.R4.T60-1019	---	---	---	---	---	---
25.R4.T60-1019	---	---	---	---	---	---

Программное обеспечение для персонального компьютера KEB COMBIVIS



Программное обеспечение **KEB COMBIVIS** позволяет производить настройку параметров, быстрый ввод в эксплуатацию и визуализировать переходные процессы как в двигателе, так и питающей сети при использовании модуля рекуперации энергии. Оно едино для всей гаммы преобразователей частоты и сервоприводов **KEB COMBIVERT**.

Заказной номер:

Интерфейс оператора 00.F4.010 – 1009

Модули подключения к стандартным промышленным сетям

Модуль
подключения
CAN
00.F4.010 –
5009

Модуль подключения
По оптическому каналу связи
00.F4.010-A009

Модуль
подключения
LON
00.F4.010 – 4009

Модуль
подключения
RS 485
00.F4.010 – 7009

Модуль
подключения
InterBus
00.F4.010 – 8009

Модуль подключения
Profibus
00.F4.010 – 6018



Выгоды пользователя

→ Экономия электроэнергии

→ Уменьшение температуры инвертора по сравнению с реостатным торможением

→ Уменьшение габаритов приводной установки

→ Уменьшение массы привода для транспортных применений

→ Устойчивое напряжение в звене постоянного тока

→ Возможность подключения к стандартным промышленным сетям InterBus, Profibus, CAN, LON, KEB DIN 66019

→ Устойчивость к помехам в соответствии со стандартом EN 55011, EN 61800-3/Limit A

→ Полный четырехквadrантный режим работы электропривода

→ Простота установки и ввода в эксплуатацию

→ Защита инвертора в тормозных режимах

→ Возможность работы устройства рекуперации
KEB COMBIVERT R4-F с $\cos \varphi$ близким к 1

→ Диапазон напряжений 380 ... 480 В

Применения. Применения. Применения.



Подъемные машины



Складское оборудование



Транспортное оборудование



Центрифуги и сепараторы



Лифты и эскалаторы



Ткацкое оборудование



Прессы

Таким образом, торможение с возвратом энергии в питающую сеть более экономически выгодно, чем торможение с подключением внешнего резистора. Оно позволяет рационально использовать энергию торможения, направляя ее поток на другие механизмы, снижая общее энергопотребление установки.

Компания **KEB** ANTRIEBSTECHNIK представляет устройства рекуперации энергии (управляемые выпрямители) **KEB COMBIVERT**, предназначенные для создания систем частотно-регулируемого электропривода с возвратом энергии в питающую сеть в тормозных режимах.

Устройства рекуперации энергии **KEB COMBIVERT** предназначены для подключения в звено постоянного тока преобразователя частоты и имеют две формы выпуска для различных применений:

KEB COMBIVERT R4-S

Устройства рекуперации энергии выполненные в виде отдельного блока и предназначенные для подключения в звено постоянного тока преобразователя частоты.

KEB COMBIVERT R4-F

Устройства рекуперации энергии выполненные в виде отдельного блока и предназначенные для питания отдельных блоков постоянным током с возможностью рекуперации энергии. Устройства рекуперации **KEB COMBIVERT R4-F** соответствуют требованиям стандарта EN 61000 – 3 – 2.

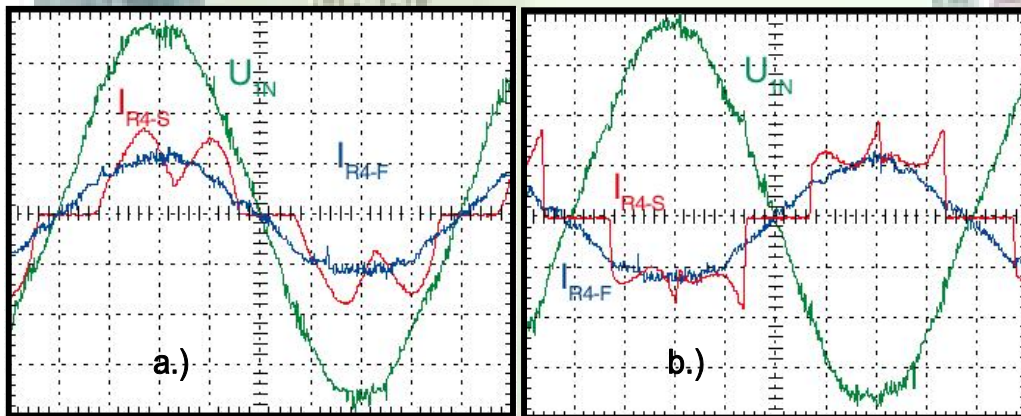


Рис. 7. Осциллограммы изменения тока и напряжения первой гармоники при использовании устройств рекуперации энергии **KEB COMBIVERT R4-F** и **KEB COMBIVERT R4-S**: а.) на зажимах электродвигателя б.) на зажимах питающей сети при рекуперации энергии.

● Торможение с рекуперацией энергии или реостатное торможение?

Что такое генераторный режим работы асинхронного электродвигателя?

Обратимость асинхронного электродвигателя позволяет ему работать в генераторном режиме. Если на валу электродвигателя отсутствует нагрузка, то энергия, потребляемая из сети, расходуется на покрытие потерь в статоре, а также на покрытие потерь в стали и механических потерь в роторе. Прикладывая к валу электродвигателя внешний момент, действующий в направлении вращения ротора, можно достичь синхронной скорости. При этом потери в роторе покрываются уже внешним источником энергии, и из сети потребляется энергия, идущая только на покрытие потерь



в статоре. Дальнейшее увеличение скорости выше синхронной приводит к тому, что асинхронный двигатель переходит в генераторный режим работы. При работе в этом режиме проводники статора пересекаются магнитным полем в прежнем направлении, а проводники ротора - в противоположном, поэтому электродвижущая сила (ЭДС) ротора E_r меняет знак. Ток в роторе соответственно равен:

$$I_r' = \frac{-E_r' s}{r_r' + jx_r'(-s)} = \frac{E_r'}{-\frac{r_r'}{s} + jx_r'}$$

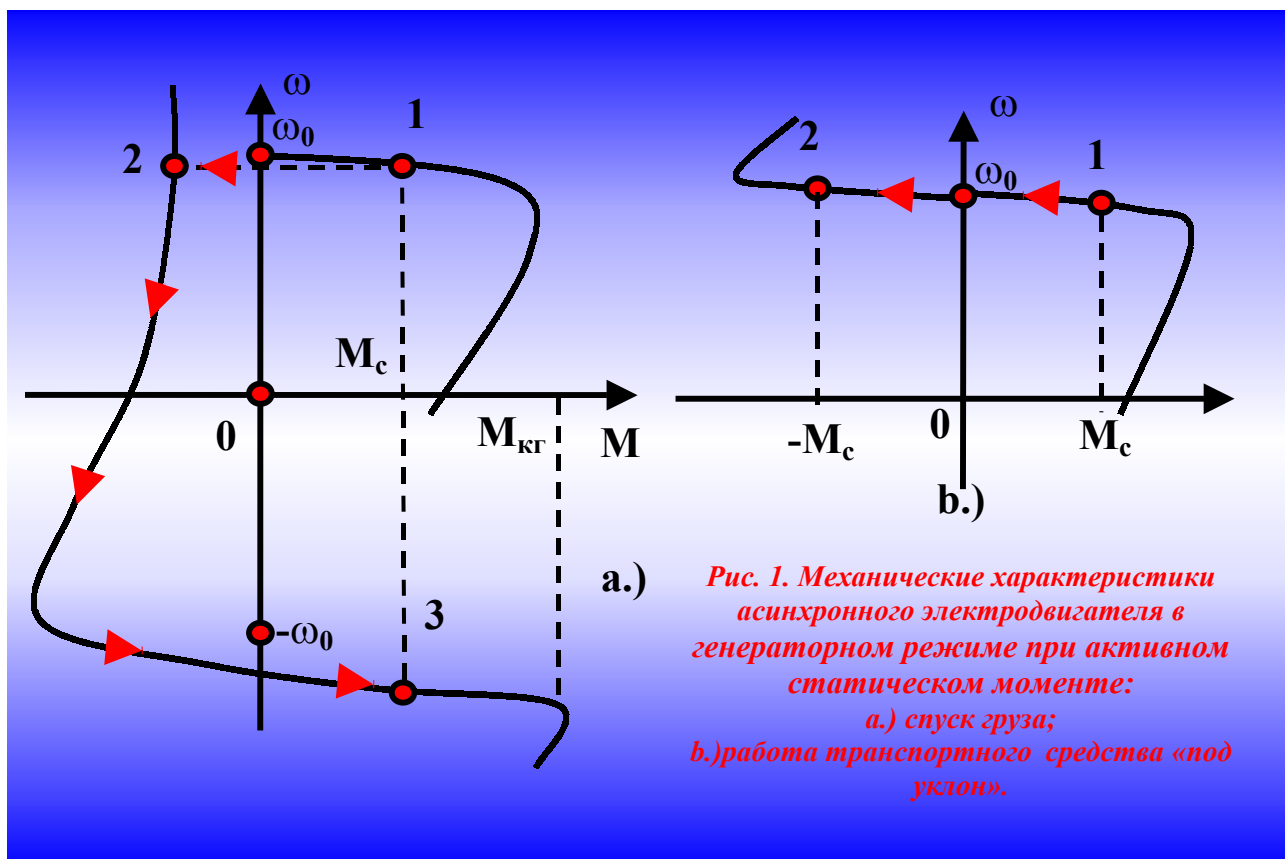
Анализ данного выражения показывает, что при переходе в генераторный режим изменяет свое направление только активная составляющая тока ротора, так как вращающий момент на валу изменил свое направление по сравнению с имевшим место в двигательном режиме.



Благодаря наличию активных статических моментов, генераторный режим используется в подъемно-транспортных установках (рис. 1.a.) и в транспортных электроприводах (рис. 1.b.).

Различие в этих режимах заключается в том, что в первом случае (рис. 1.a.) двигатель при опускании груза переключается на его спуск ($\omega < 0$) и последовательно переходит в режим противовключения (второй квадрант), реверса (третий квадрант) и выходит на генераторный режим с рекуперацией энергии в сеть (точка 3 в четвертом квадранте при $|\omega| > |\omega_0|$). Предельное значение момента груза M_c не должно превосходить номинальный момент.

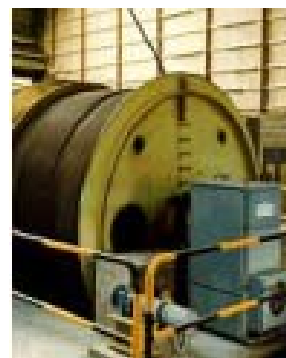
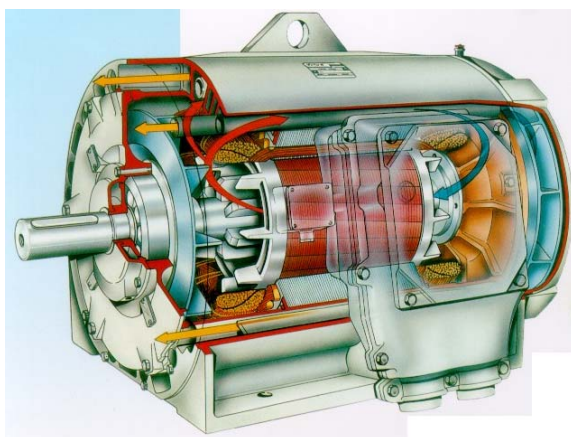




При движении транспортного средства «под уклон» потенциальная энергия перемещения груза начинает способствовать движению и создает внешний движущий момент, прикладываемый к валу электродвигателя. В этом случае, благодаря увеличению

скорости привода ($\omega > \omega_0$) и изменению знака ЭДС E_r , двигатель сразу переходит в генераторный режим с отдачей энергии в сеть.

При наличии реактивного статического момента генераторный режим можно получить в частотно-регулируемом электроприводе при переключении скоростей. При снижении частоты питания статора с основной f_1 до $f_2 < f_1$ и $f_3 < f_2$ двигатель постепенно переходит с одной механической характеристики на другую (рис. 2.). Электропривод может кратковременно работать в генераторном режиме с отдачей энергии в сеть, пока его рабочая точка перемещается по участкам механических характеристик, расположенных во втором квадранте. Плавное изменение частоты питания электродвигателя, можно получить генераторный режим с мало изменяющимся моментом.



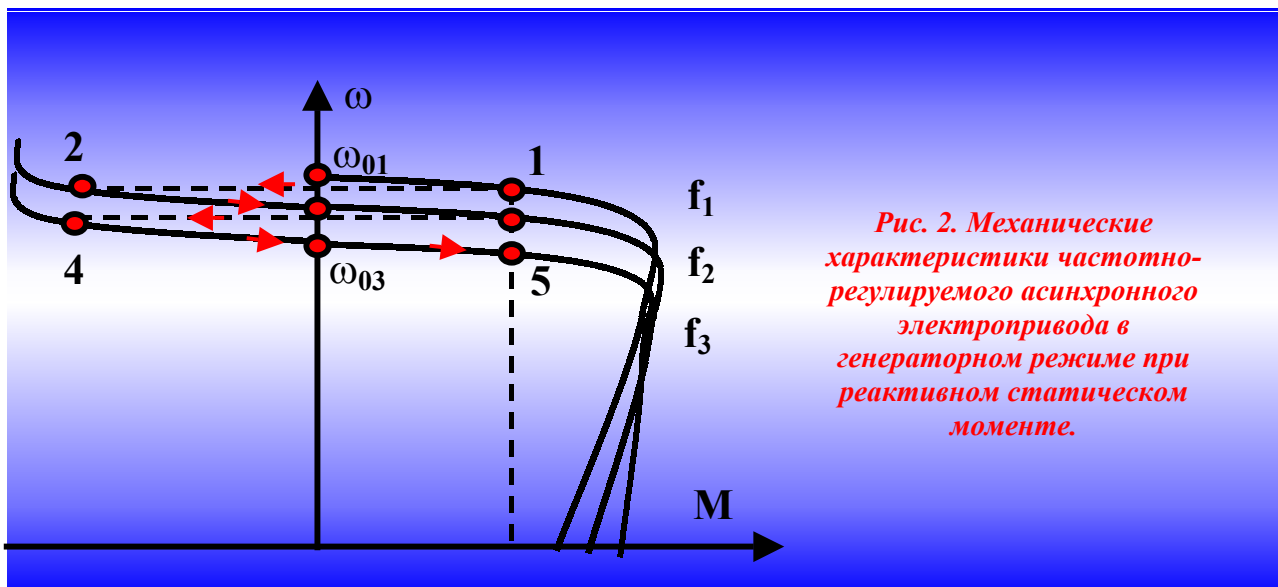


Рис. 2. Механические характеристики частотно-регулируемого асинхронного электропривода в генераторном режиме при реактивном статическом моменте.

Торможение с подключением внешнего резистора

Торможение с подключением внешнего резистора получило наибольшее распространение в электроприводах с преобразователями частоты отечественных и зарубежных фирм. При данном способе торможения, после снятия напряжения с зажимов электродвигателя, энергия торможения поступает через инвертор в звено постоянного тока, рассеивается на элементах схемы преобразователя. Для повышения эффективности торможения к преобразователю подключают внешний тормозной резистор. В этом случае, распределение энергии при торможении осуществляется тормозным транзисторным ключом (рис. 3.), управляемым с помощью широтно-импульсного или частотно-импульсного метода по условию ограничения напряжения звена постоянного тока преобразователя на допустимом для полупроводниковых приборов преобразователя уровне.

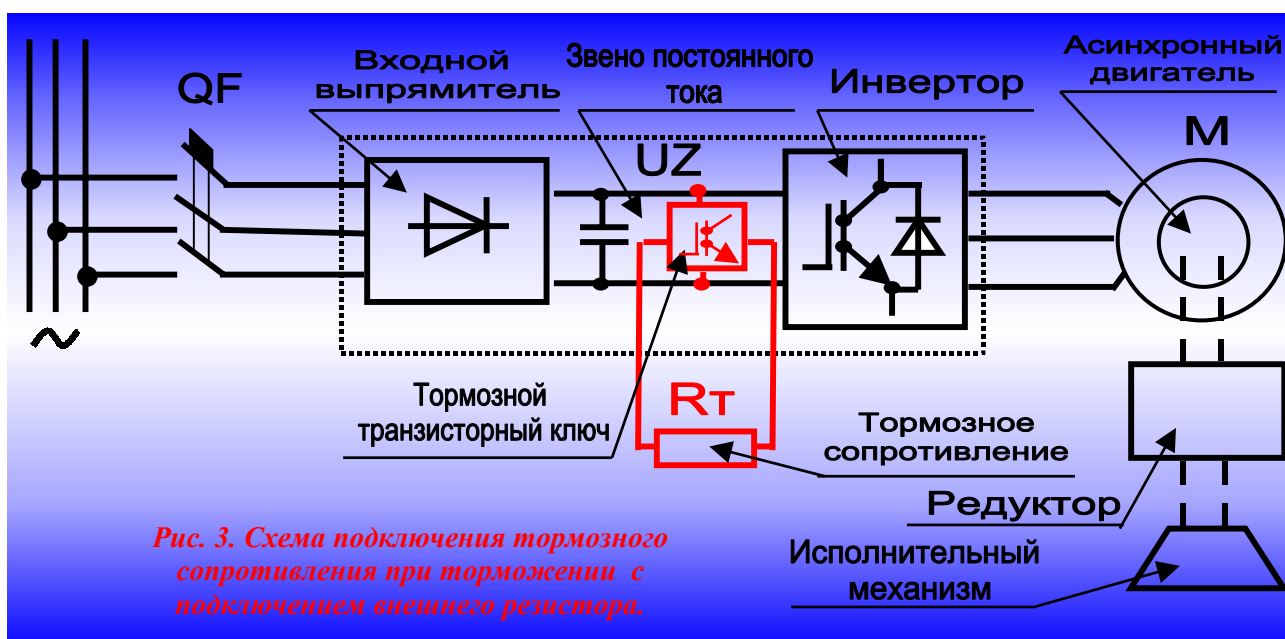


Рис. 3. Схема подключения тормозного сопротивления при торможении с подключением внешнего резистора.

Следует отметить ряд недостатков данного способа торможения. Тормозной резистор является внешним устройством преобразователя частоты, что увеличивает стоимость электропривода и ухудшает массогабаритные показатели установки. Большая часть энергии торможения, за исключением потерь в элементах электропривода, выделяется в виде тепловой на тормозном сопротивлении, что ведет к его значительному нагреву, увеличению потерь и **нерациональному использованию электрической энергии**. Энергетическая диаграмма торможения с подключением внешнего резистора представлена на рис. 4. Величина сжигаемой на тормозном резисторе мощности определяется выражением

$$P_{тр} = P_m - \Delta P_m - \Delta P_p - \Delta P_{дв} - \Delta P_u .$$


P_m – мощность, развиваемая механизмом; P_p – мощность в редукторе; $P_{дв}$ – механическая мощность двигателя; P_u – мощность в инверторе; $P_{тр}$ – мощность торможения, сжигаемая на тормозном резисторе; ΔP_m , ΔP_p , ΔP_u – потери мощности в механизме, редукторе и инверторе; $\Delta P_{дв}$ – суммарные потери в двигателе.

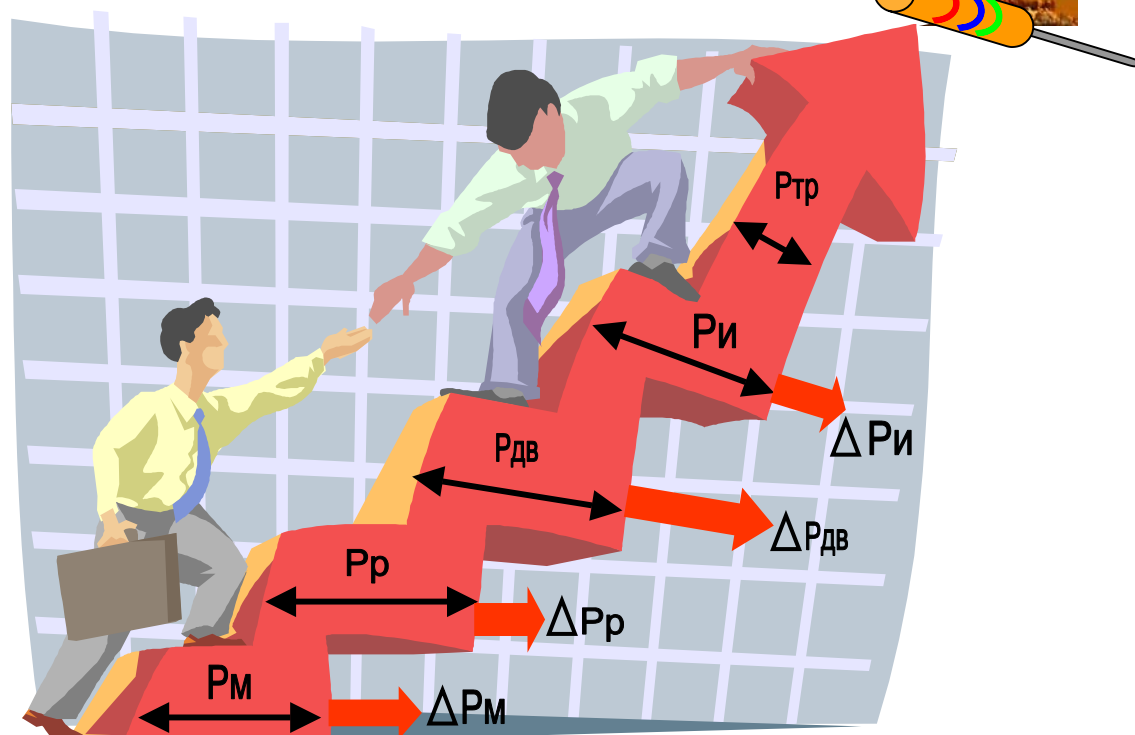
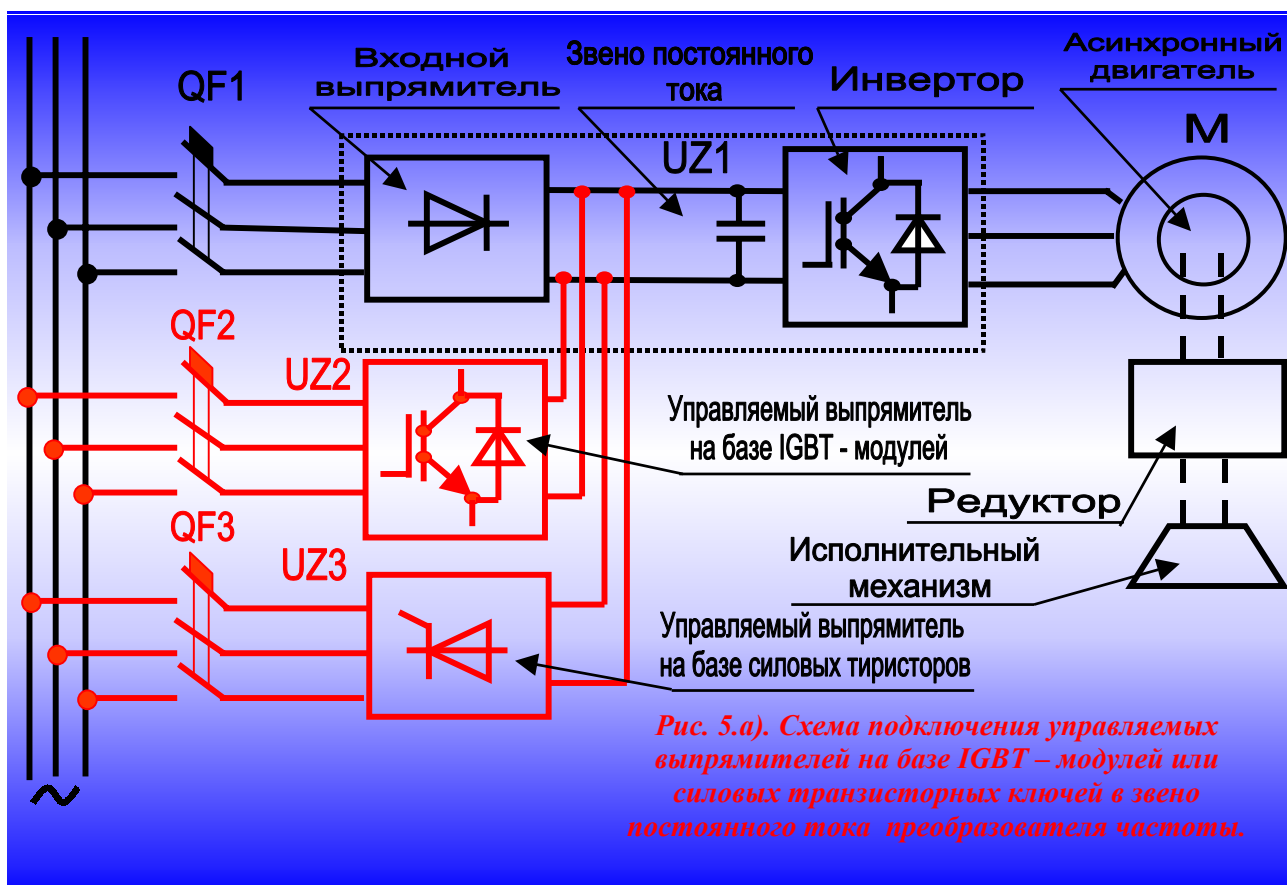


Рис. 4. Энергетическая диаграмма торможения с подключением внешнего резистора в звено постоянного тока.

Торможение с регенерацией энергии в питающую сеть

При эксплуатации асинхронных двигателей возможно создать более экономичные и рациональные тормозные режимы с возвратом тормозной энергии в питающую сеть. Как и в случае реостатного торможения, после снятия напряжения с зажимов электродвигателя, энергия торможения поступает через инвертор в звено постоянного тока, где должна рассеиваться на элементах схемы преобразователя или сжигаться на внешнем тормозном резисторе. Однако, существуют схемные решения по подключению в звено постоянного тока управляемых выпрямителей, работающих на сеть (рис. 5.a.) или питания нескольких инверторов от одного управляемого выпрямителя (рис. 5.b.), что создает предпосылки для более экономичного и рационального использования энергии торможения. Энергетическая диаграмма торможения с рекуперацией энергии представлена на рис.6.



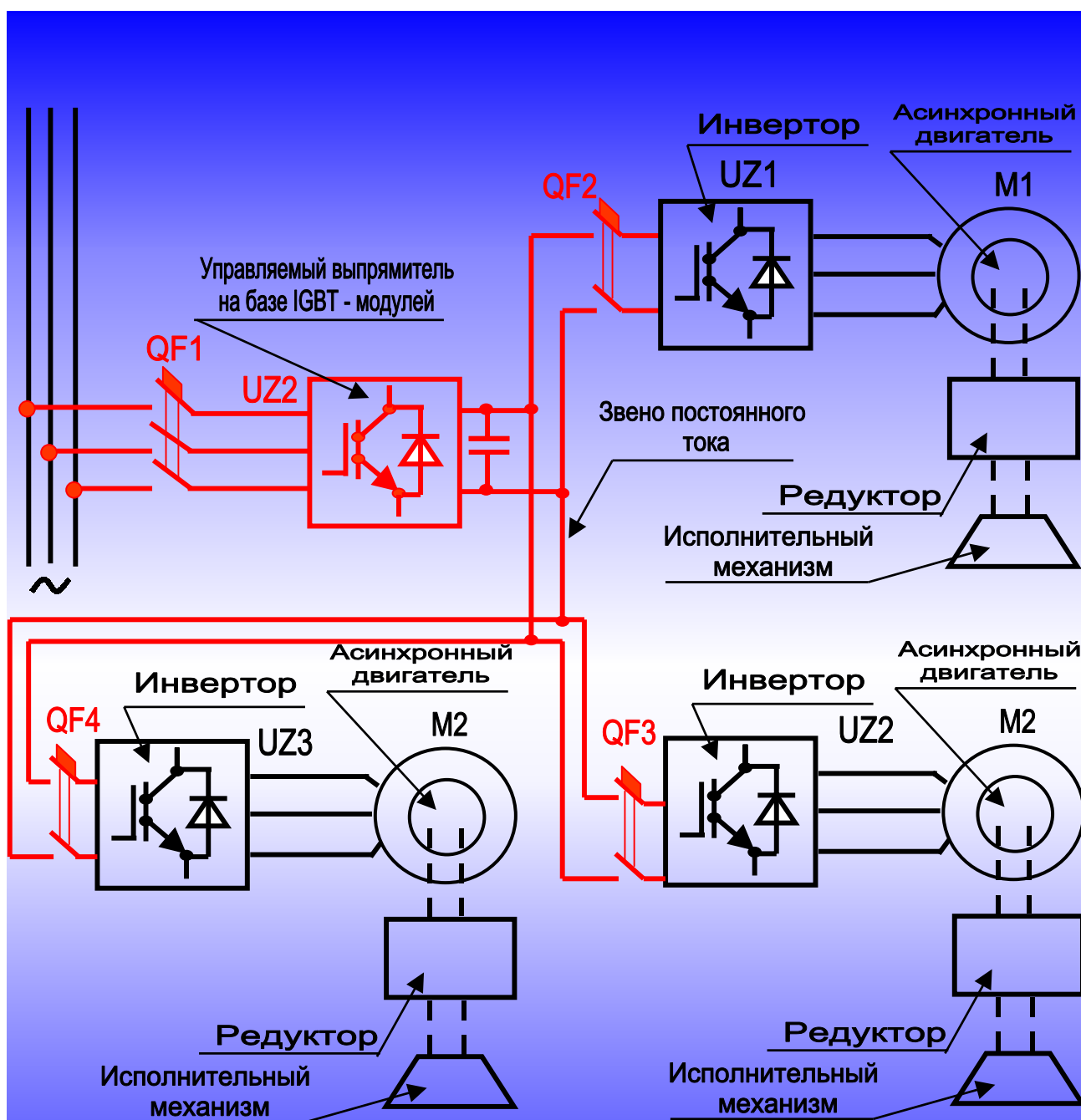
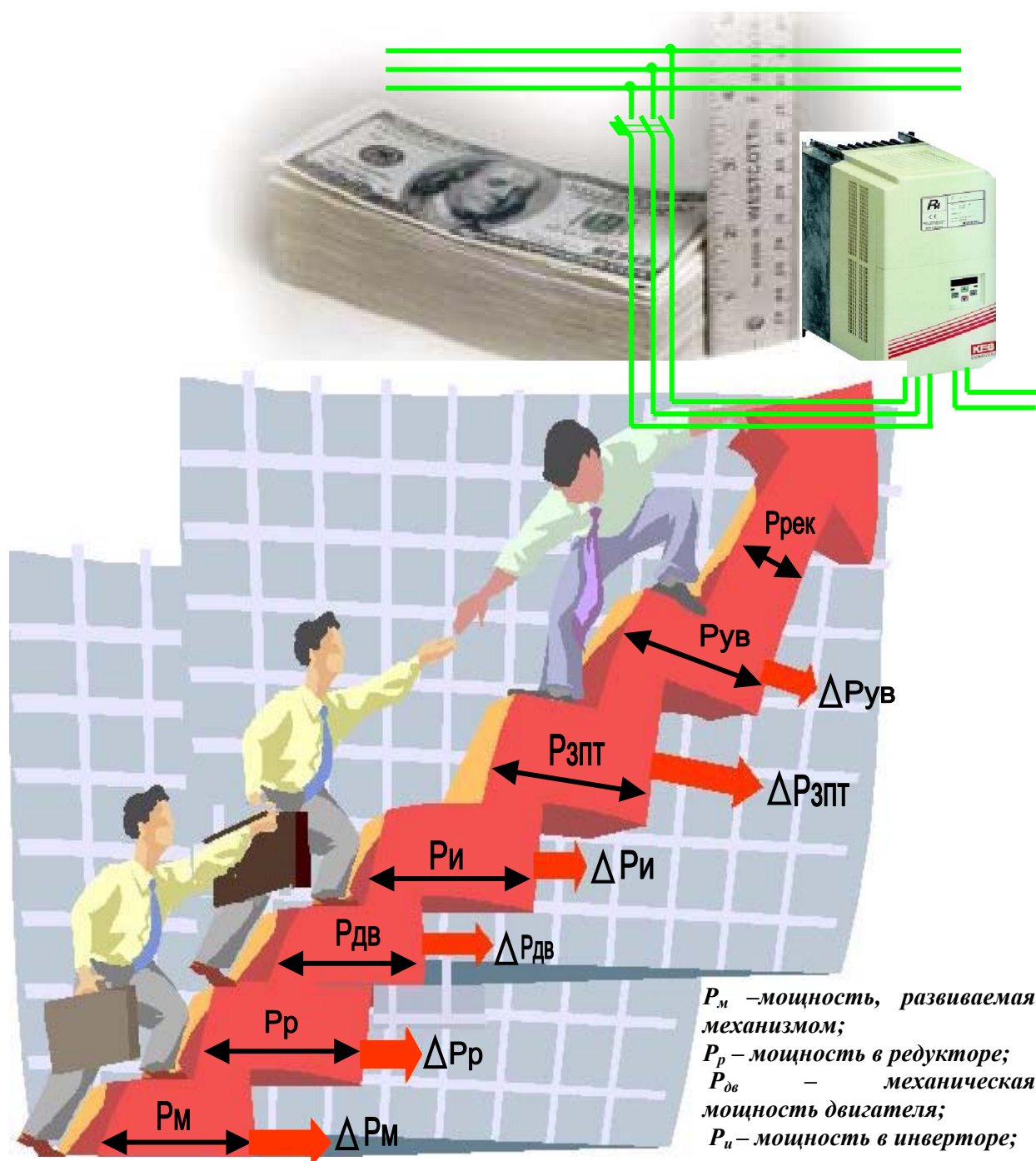


Рис. 5.б). Схема питания отдельных инверторов через звено постоянного тока от управляемого выпрямителя на базе IGBT - модулей.



$P_{\text{зпт}}$ – мощность в звене постоянного тока; $P_{\text{ув}}$ – мощность на управляемом выпрямителе;
 $\Delta P_{\text{м}}$, $\Delta P_{\text{р}}$, $\Delta P_{\text{и}}$, $\Delta P_{\text{зпт}}$, $\Delta P_{\text{ув}}$, – потери мощности в механизме, редукторе, инверторе, звене постоянного тока и управляемом выпрямителе; $\Delta P_{\text{дв}}$ – суммарные потери в двигателе; $P_{\text{рек}}$ – мощность, отдаваемая в питающую сеть.

Мощность, отдаваемая в питающую сеть определяется выражением:

$$P_{\text{рек}} = P_{\text{м}} - \Delta P_{\text{м}} - \Delta P_{\text{р}} - \Delta P_{\text{дв}} - \Delta P_{\text{и}} - \Delta P_{\text{зпт}} - \Delta P_{\text{ув}}$$

Рис. 6. Энергетическая диаграмма торможения с рекуперацией энергии в питающую сеть.