

Коробки передач

Ступенчатые КПП

Требования к КПП

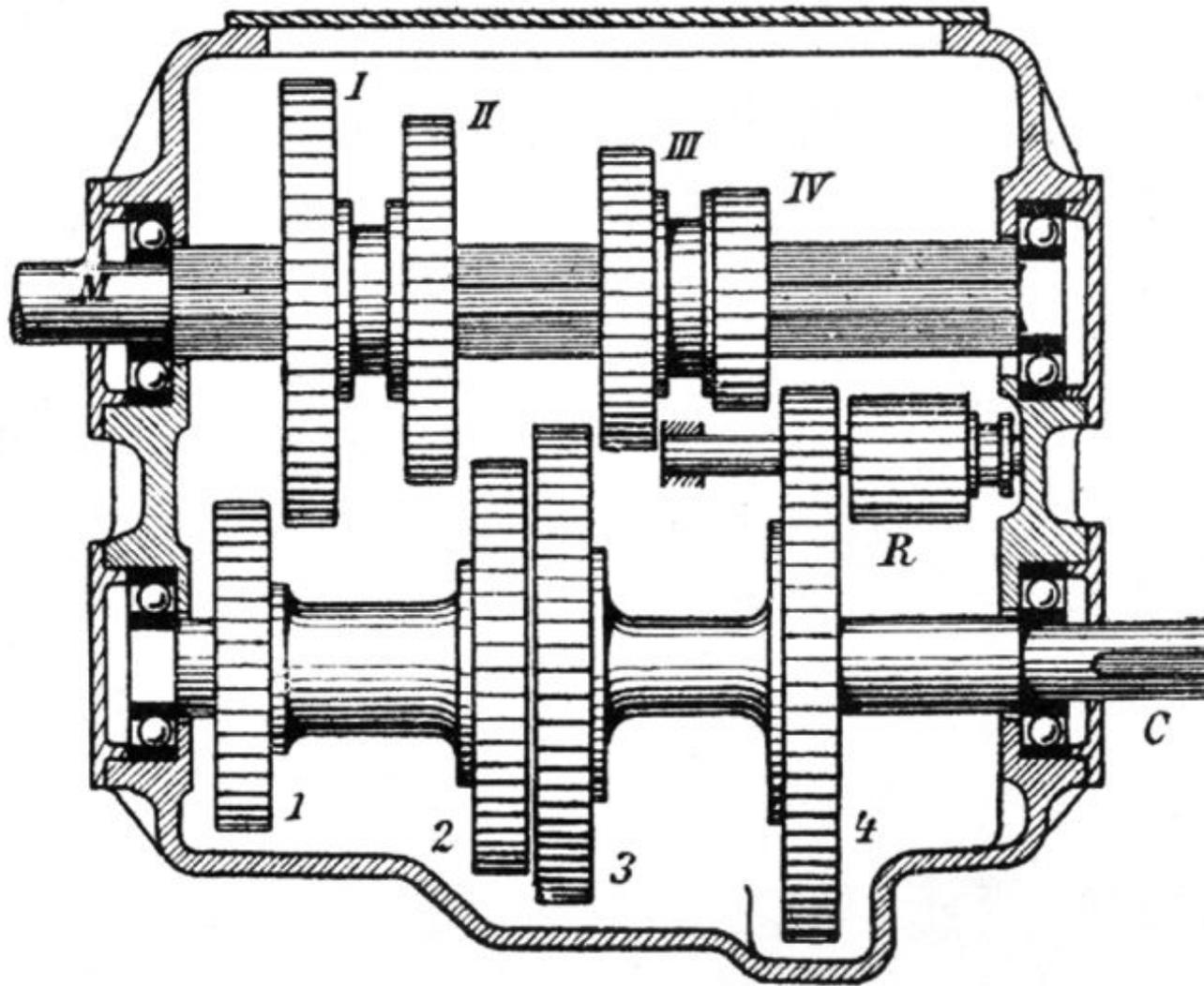
- Обеспечение оптимально тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля при заданной внешней характеристике двигателя
- Бесшумность при работе и переключение передач
- Легкость управления
- Высокий КПД

Классификация КПП

- 1. Характер изменения передаточного числа
 - -ступенчатая
 - - бесступенчатая
 - Механическая (фрикционная, импульсная)
 - Гидравлическая (гидрообъемная, гидродинамическая)
 - - комбинированная
 - Гидромеханическая
 - Электромеханическая

Классификация ступенчатых КПП

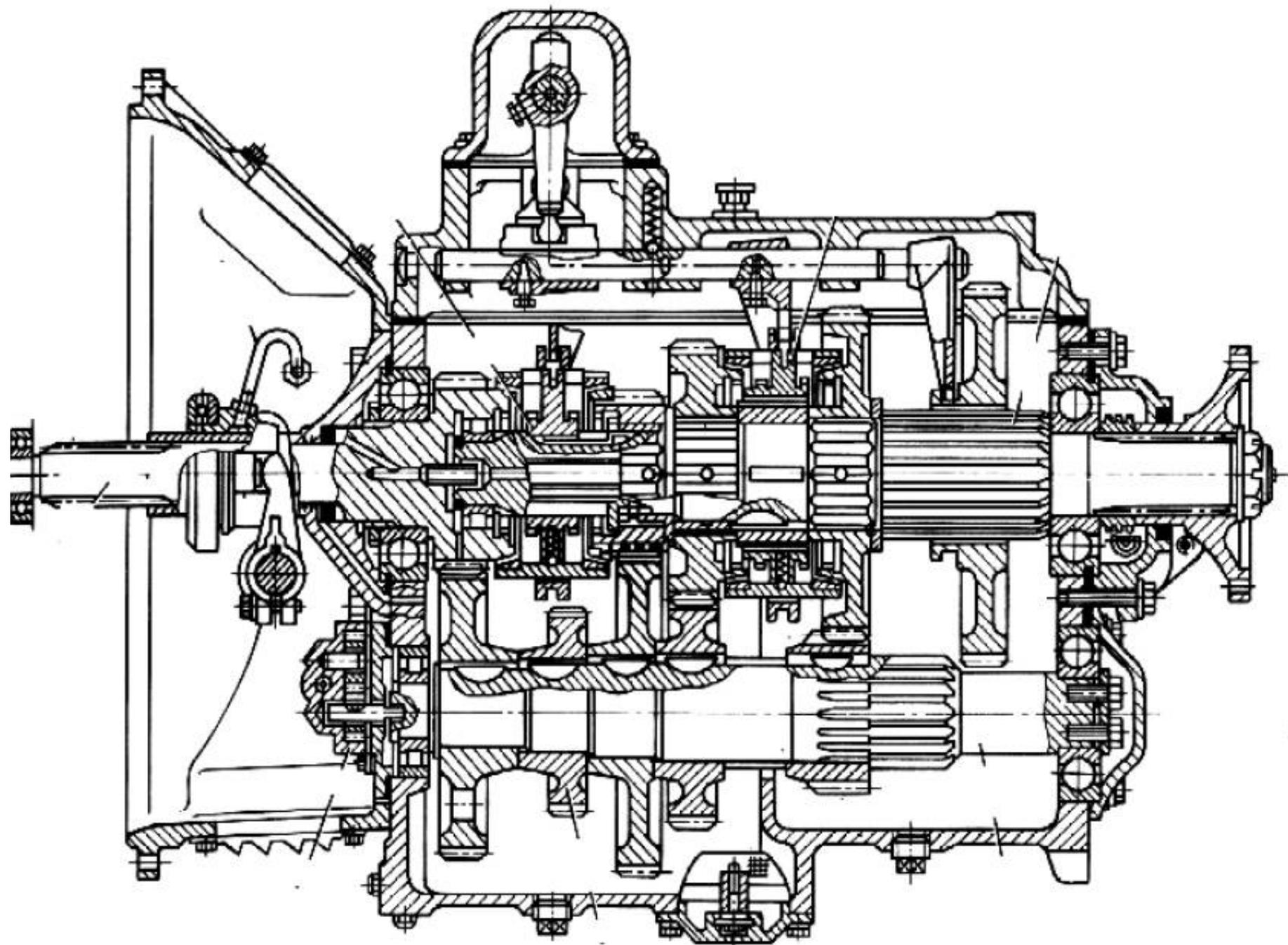
- 1. Конструктивная схема
 - - с неподвижными осями
 - двухвальная
 - трехвальная
 - многовальная
 - - с подвижными осями (планетарная)
 - - комбинированная



Двухвальная
четырёхступенчатая
несинхронизированная
коробка передач со
скользящими
шестернями. В отличие
от современных
конструкций, её
шестерни не находятся
в постоянном
зацеплении: шестерни
первичного вала
(верхний) могут
скользить вдоль него,
вступая в зацепление с
неподвижно
закреплёнными на
своём валу
шестернями
вторичного. 1911 год,
Германия.

6. Wechselgetriebe für vier Geschwindigkeiten und Rücklauf:

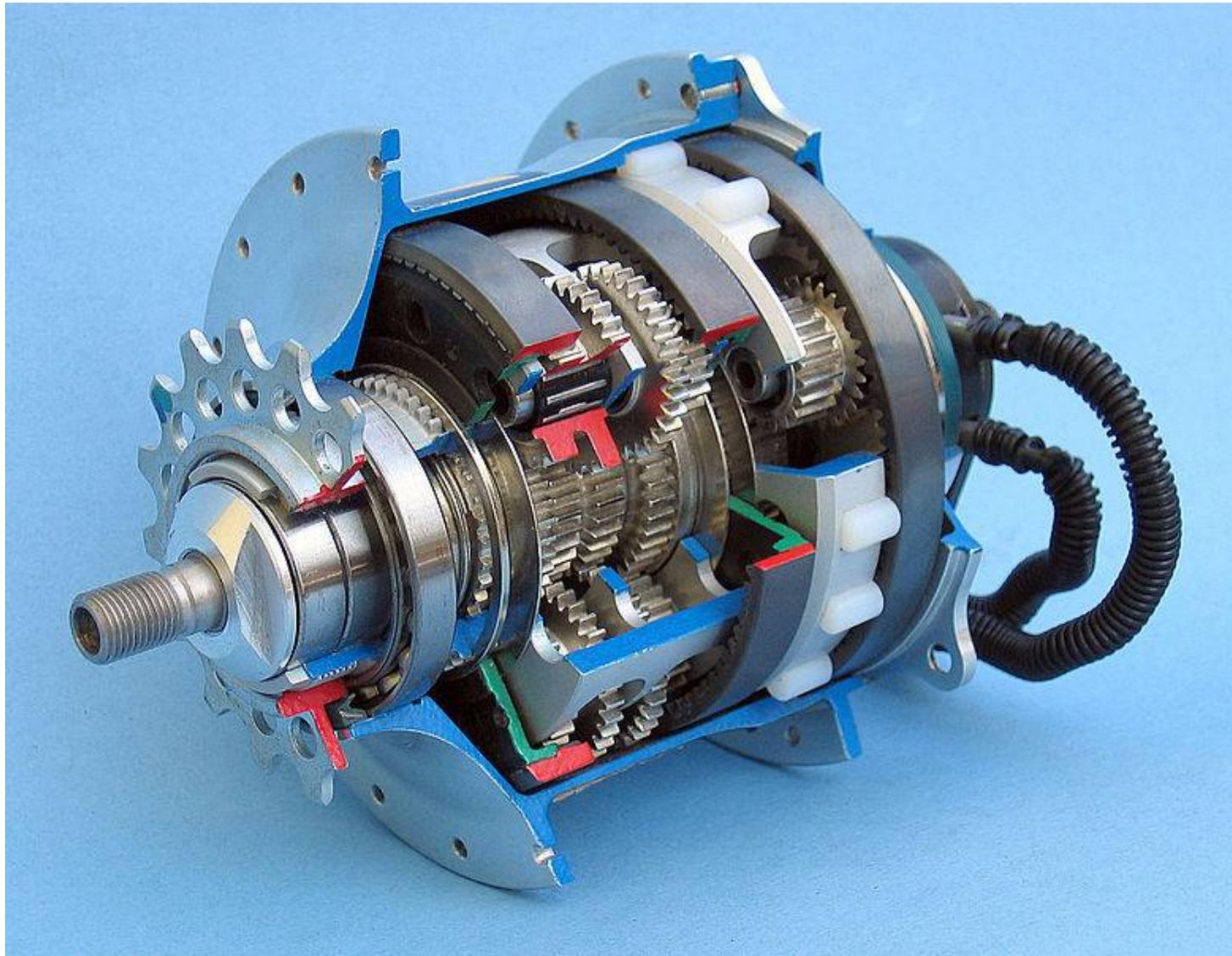
M Angriff der Motorwelle, *C* Angriff der Cardanwelle;
Geschwindigkeitsräder *I, II, III, IV*, durch Verschiebung
mit 1, 2, 3, 4 in Eingriff gebracht; Rücklaufgrad *R*,
durch Linksschiebung mit *IV* und 4 in Eingriff gebracht.

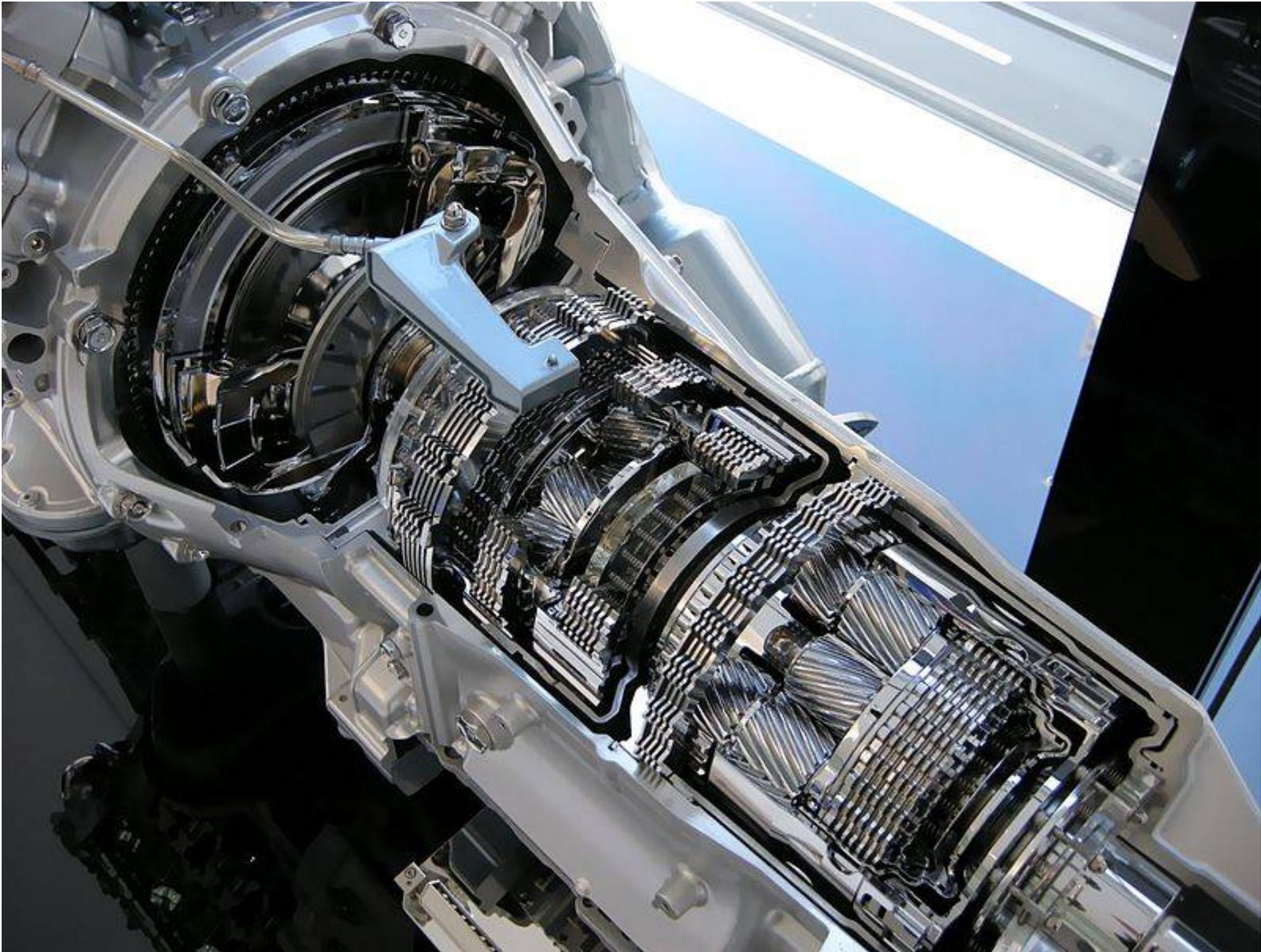


Планетарные коробки передач

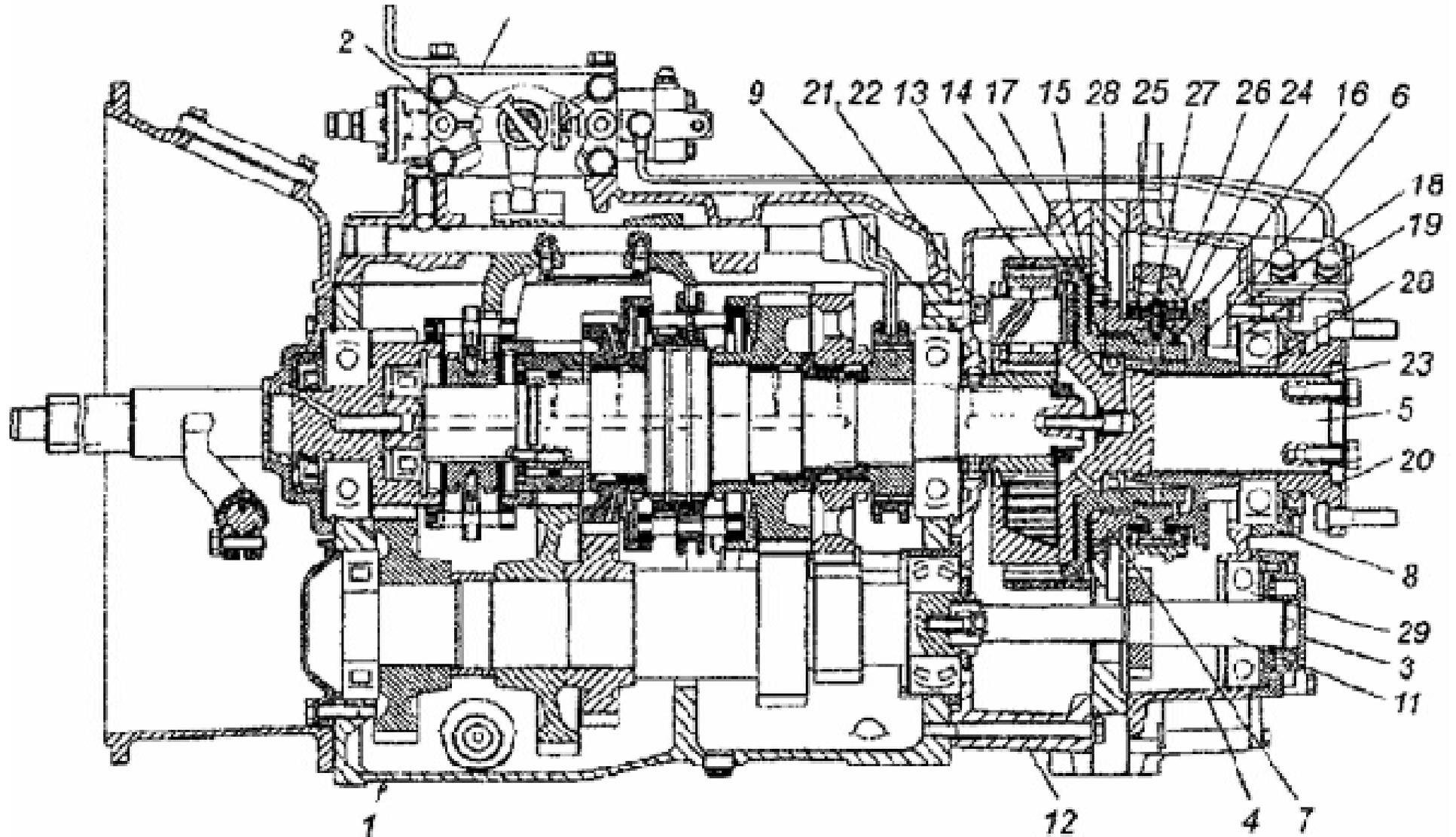
- Особенность этих коробок в том, что все шестерни в них находятся в постоянном зацеплении, а изменение передаточного числа происходит за счёт блокирования отдельных вращающихся элементов ленточными тормозами и пакетами фрикционов.
- Так как при переключении передач в планетарной коробке зубчатые венцы не вводятся в зацепление, нет необходимости разобщать двигатель и трансмиссию. Кроме того, такая КП получается гораздо компактнее обычной.
- Однако управление автомобилем с такой КП очень специфично, а сама она весьма дорога в производстве. Поэтому механические планетарные КП не получили распространения на автомобилях, зато нередко применяются на велосипедах, а также на танках и иных гусеничных машинах.

Велосипедная планетарная коробка передач Rohloff Speedhub 500/14.





Механическая, 8-ступенчатая КПП 161 для КАМАЗа, состоящая из основного 3-вального 4-ступенчатого синхронизированного редуктора и приставного 2-ступенчатого заднего демультипликатора планетарного типа



Классификация ступенчатых КПП

- 2. По числу ступеней
- 3. По типу зубчатого зацепления
(прямозубая, косозубая, шевронная)
- 4. По способу переключения (с подвижными зубчатыми колесами, с муфтой легкого включения, с синхронизаторами)
- 5. По способу управления
(непосредственное, дистанционное, полуавтоматическое, автоматическое)

Параметры анализа и оценки конструкции КПП

- 1. Диапазон передаточных чисел

$$D = \frac{U_{кп\ max} - \text{низшая}}{U_{кп\ min} - \text{высшая передача}}$$

- Легковые автомобили $D = 3...4$
- Грузовые и автобусы $D = 5...8$
- Автомобили – тягачи и высокой проходимости $D = 9...13$

- 2. Число передач и плотность ряда - характеризуется отношением передаточных чисел соседних передач. Чем выше число передач, тем выше плотность ряда и в большей степени выполняется требование обеспечения высоких тяговых и экономических свойств автомобиля.
- В современных конструкциях плотность ряда 1,1... 1,5. На высших передачах показатель плотности должен быть ближе к нижнему значению. Большая плотность позволяет работать синхронизаторам в более благоприятных условиях.

- 3. Уровень шума зависит от качества, точности изготовления и типа зубчатых пар, жесткости валов и картера коробки. Параметром оценки уровня шума КПП может служить ее КПД.
- 4. Легкость управления оценивается усилием на рычаге и сложностью манипуляций

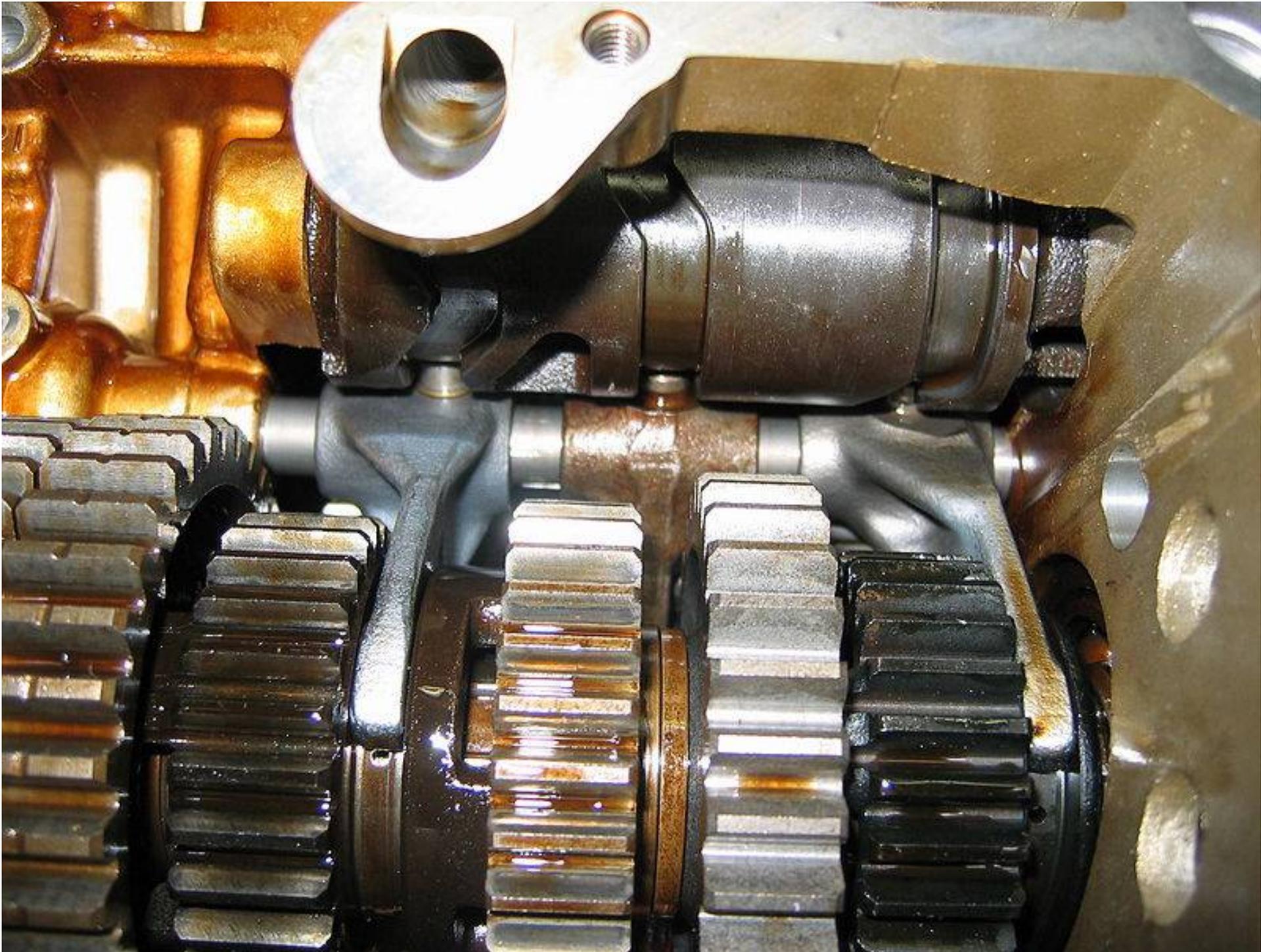
Количество ступеней

- **Двухступенчатые:** на небольшом количестве ранних автомобилей коробки передач имели **две ступени** переднего хода и одну — заднего; например, на Ford T;
- **Трёхступенчатые:** в 1920-х распространились коробки передач с тремя ступенями переднего хода, которые были широко распространены в Европе — до конца 1960-х годов, а в Северной Америке — до второй половины 1970-х; как правило, в них были синхронизированы как минимум вторая и третья передачи;
- **Четырёхступенчатые:** уже многие ранние автомобили имели четырёхступенчатые коробки *без синхронизаторов*; с появлением синхронизаторов, однако, большинство производителей массовых автомобилей ограничило количество ступеней тремя; тем не менее, в конце 1950-х годов на массовых моделях стали появляться коробки передач «со сближенными передаточными числами» и четырьмя ступенями, что обеспечивало более интенсивный и плавный разгон.

- **Пятиступенчатые:** в 1970-е годы появились, а в 1980-е получили массовое распространение МКП с четырьмя основными передачами переднего хода и дополнительной пятой, которая представляла собой встроенную в саму коробку *повышающую передачу*
- **Шестиступенчатые:** в 1990-е годы появились шестиступенчатые коробки передач. Они могли представлять собой как МКП с четырьмя базовыми ступенями и двумя — повышающими (для ещё большей экономии топлива), так и МКП с пятью базовыми и одной повышающей ступенью (для ещё более динамичного разгона)
- **Семиступенчатые и далее:** в 2000-е годы появляются механические коробки передач с пятью базовыми ступенями и двумя повышающими (например, Bugatti Veyron или BMW M5).

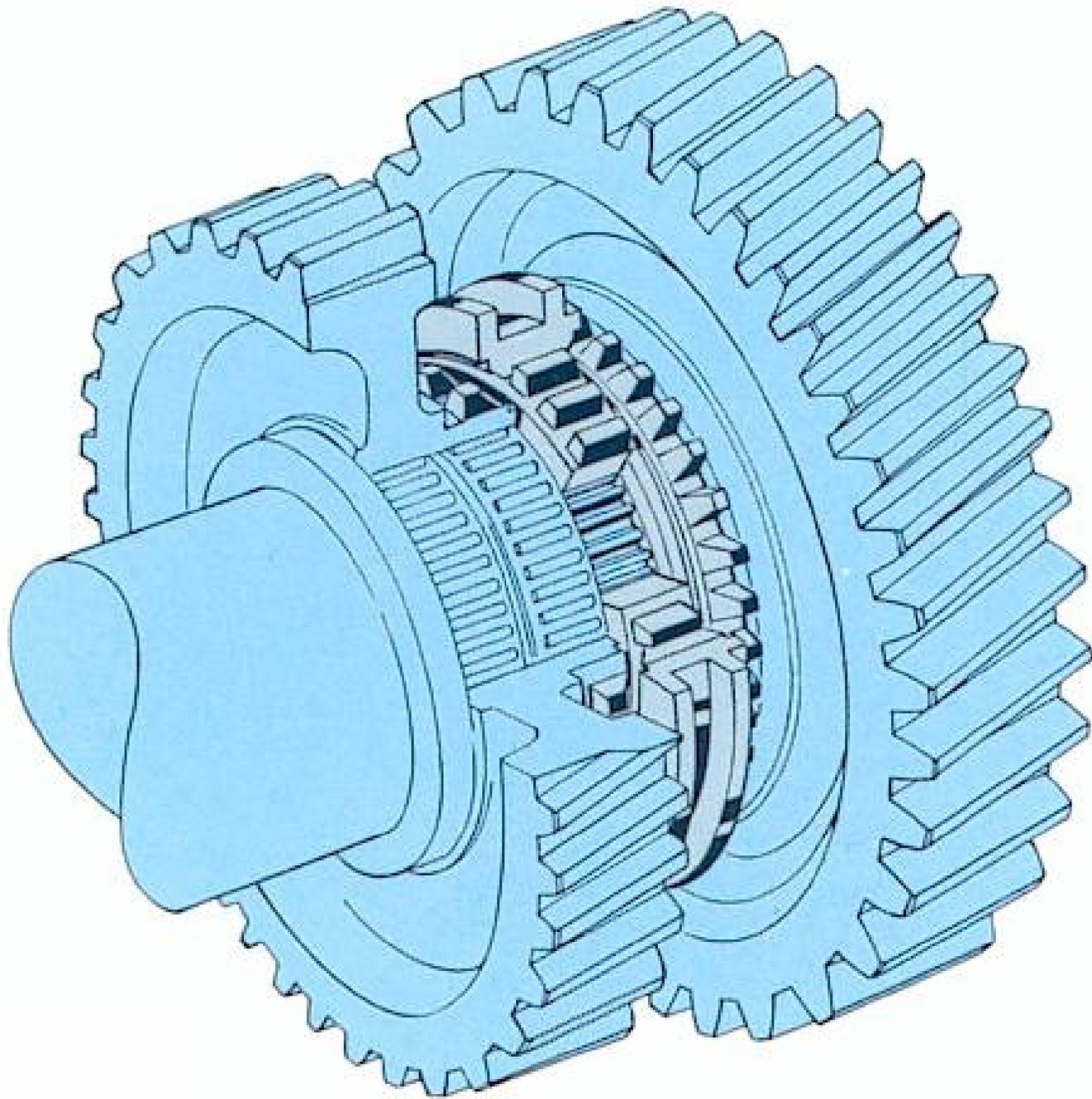
Способы включения передач

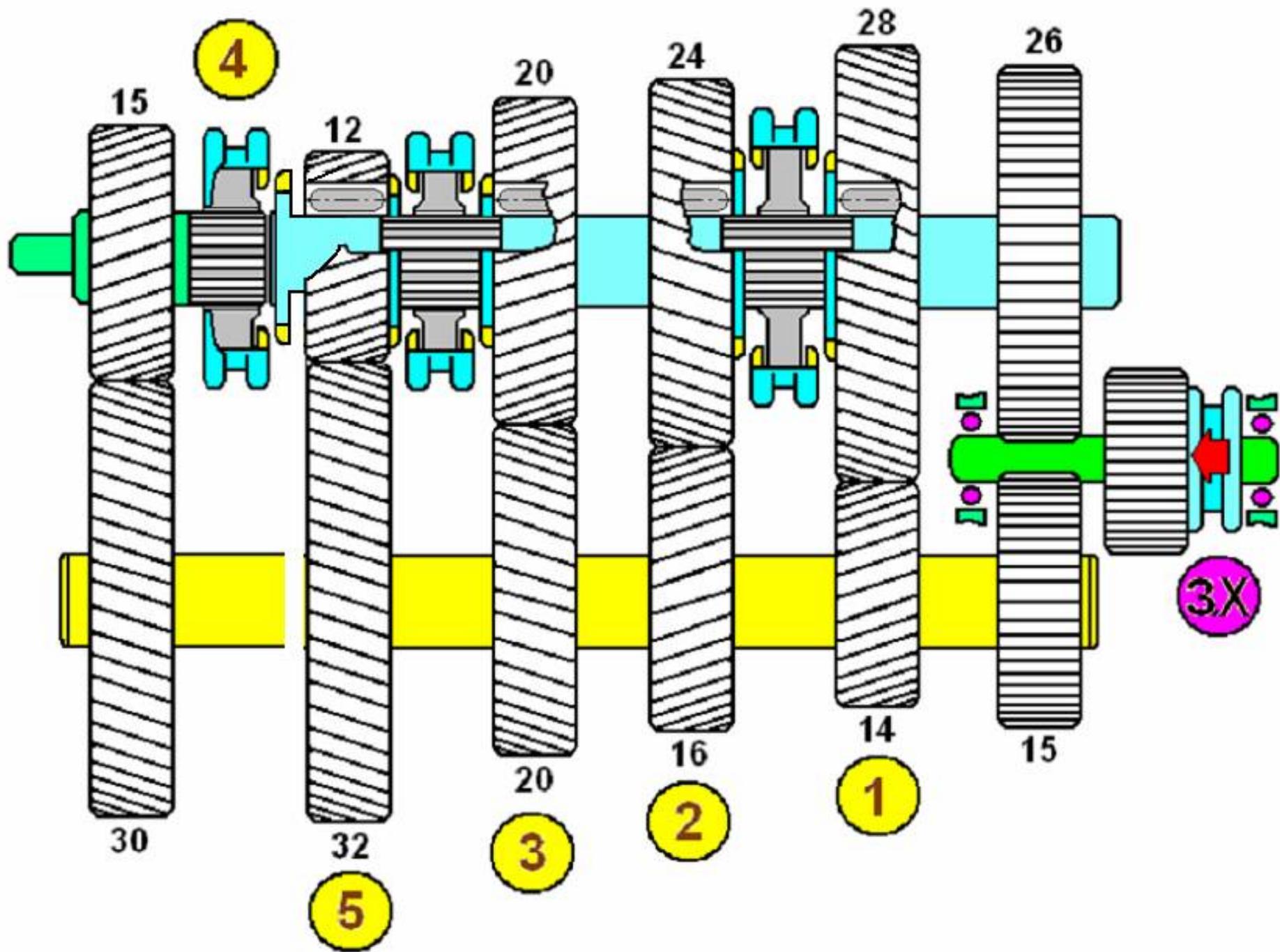
- 1. При помощи подвижных зубчатых колес (сейчас в основном для 1-ой передачи и з.х.)
- - ударные нагрузки от сил инерции ведомого диска и вращающихся с ним деталей КПП приходятся на один или два зуба включаемых колес, что приводит к быстрому износу и поломкам.
- - для включения передачи требуется переместить каретку на всю длину зуба, что приводит к увеличению длины КПП и ее массы



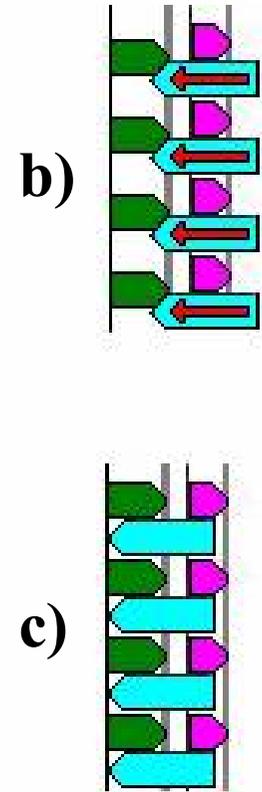
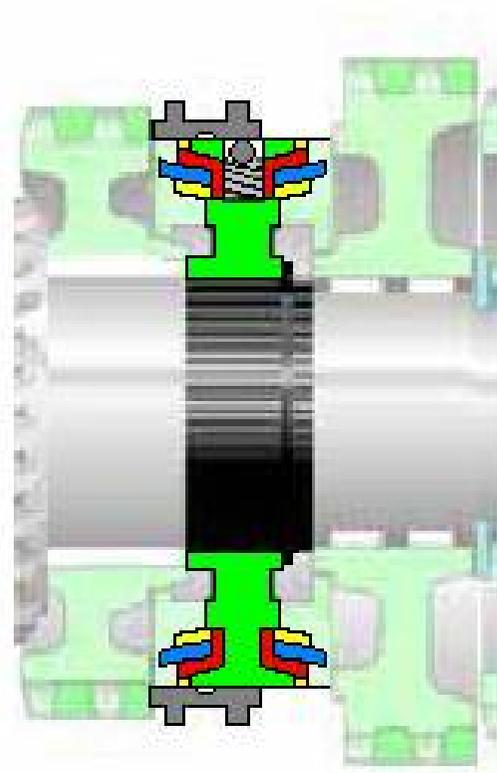
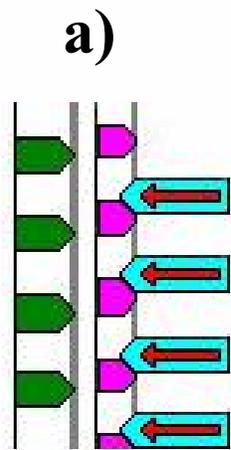
- На легковых автомобилях полностью несинхронизированные МКП применялись до 1940-х годов (ГАЗ-А, ГАЗ-М-1, ранние серии ГАЗ-М-20).
- Однако, например, на тяжёлых грузовиках и тракторах, КП которых имеют большое количество передач (до 18), установка синхронизаторов технически невозможна.

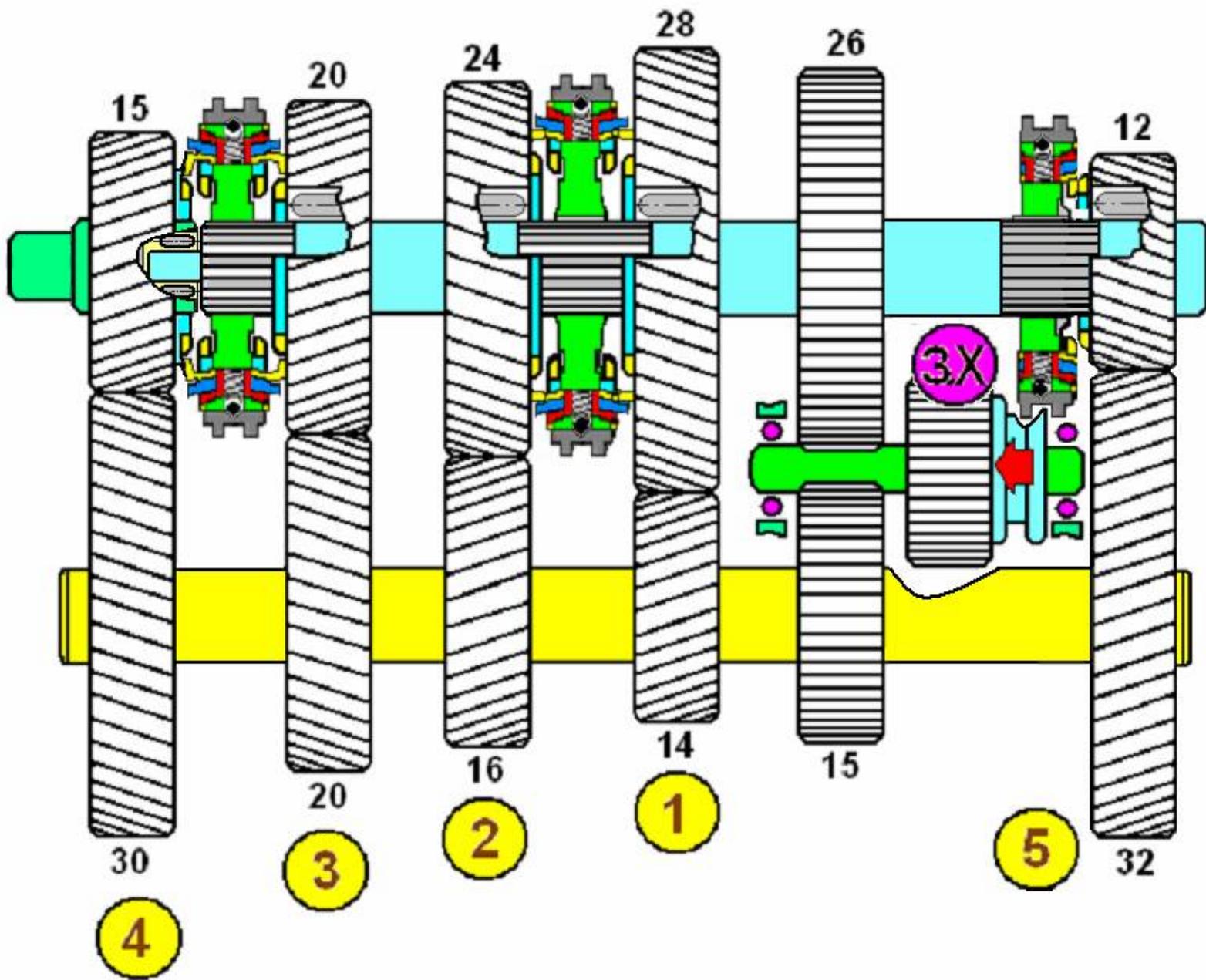
- 2. При помощи зубчатых муфт - в КПП с зубчатыми колесами постоянного зацепления.
- Ударные нагрузки распределены между всеми зубьями, что, однако, не снижает шума и не облегчает включения.

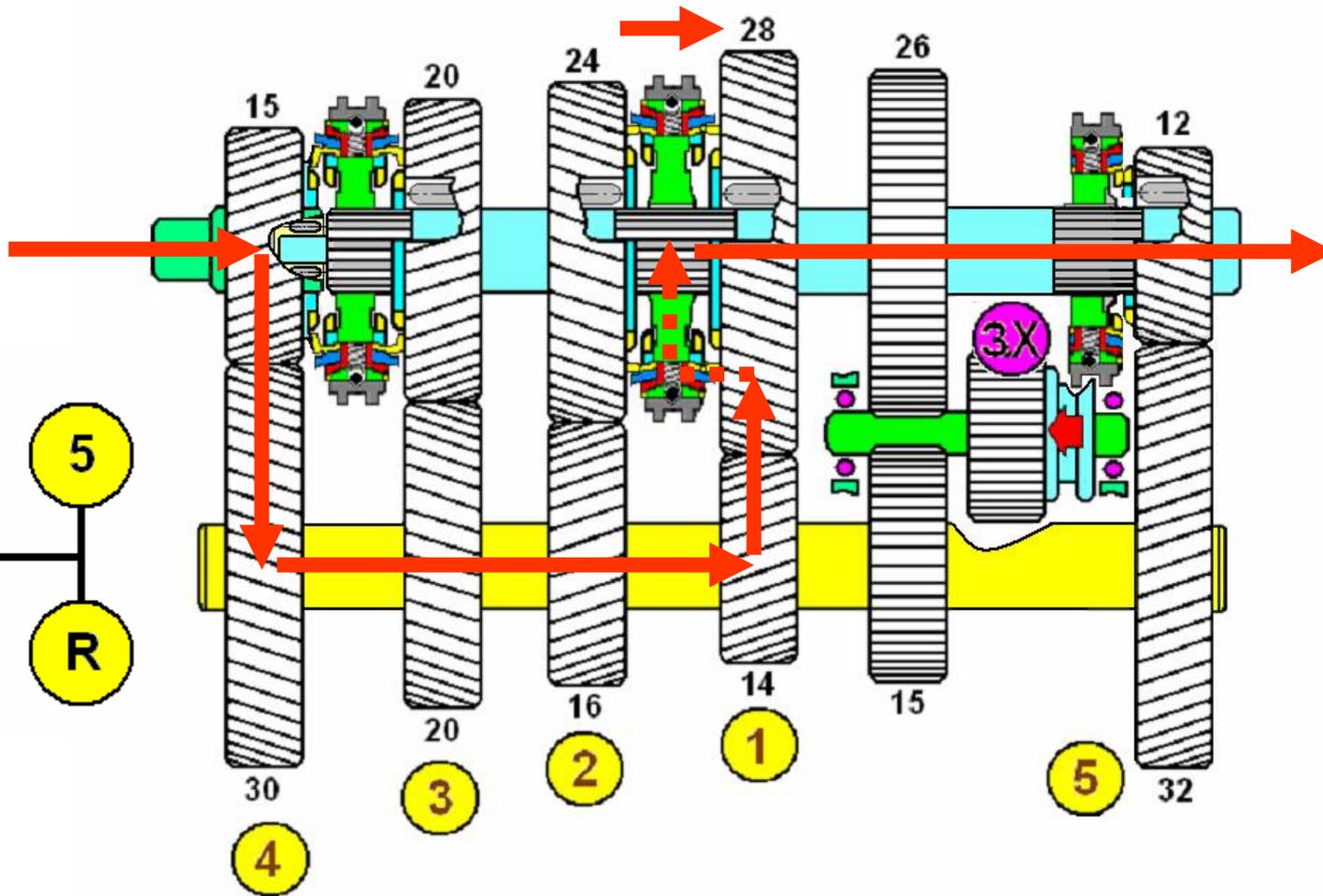
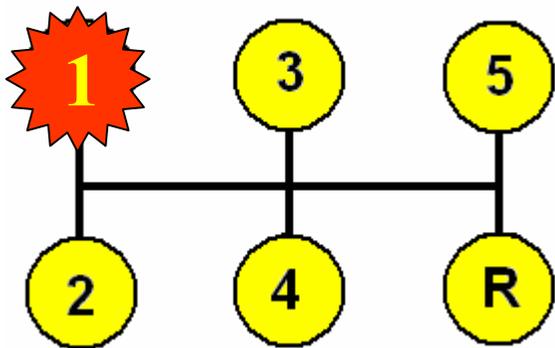


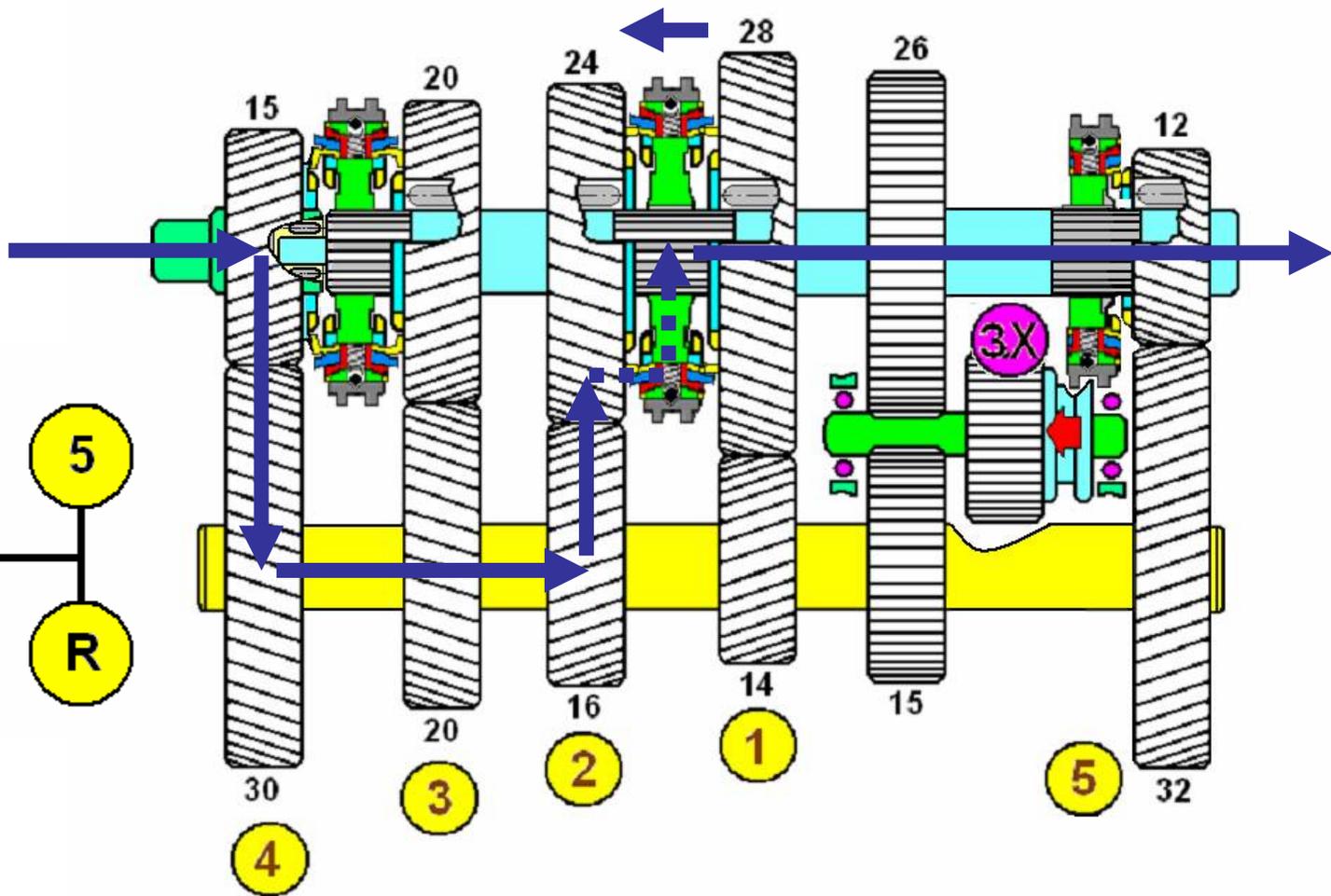
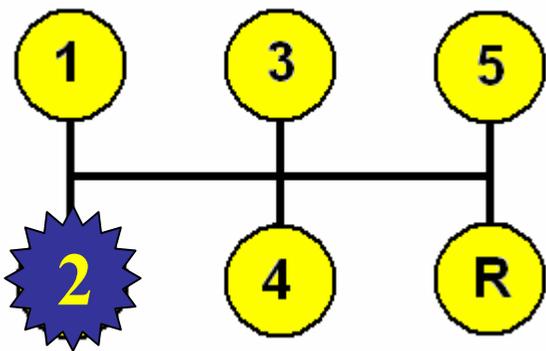


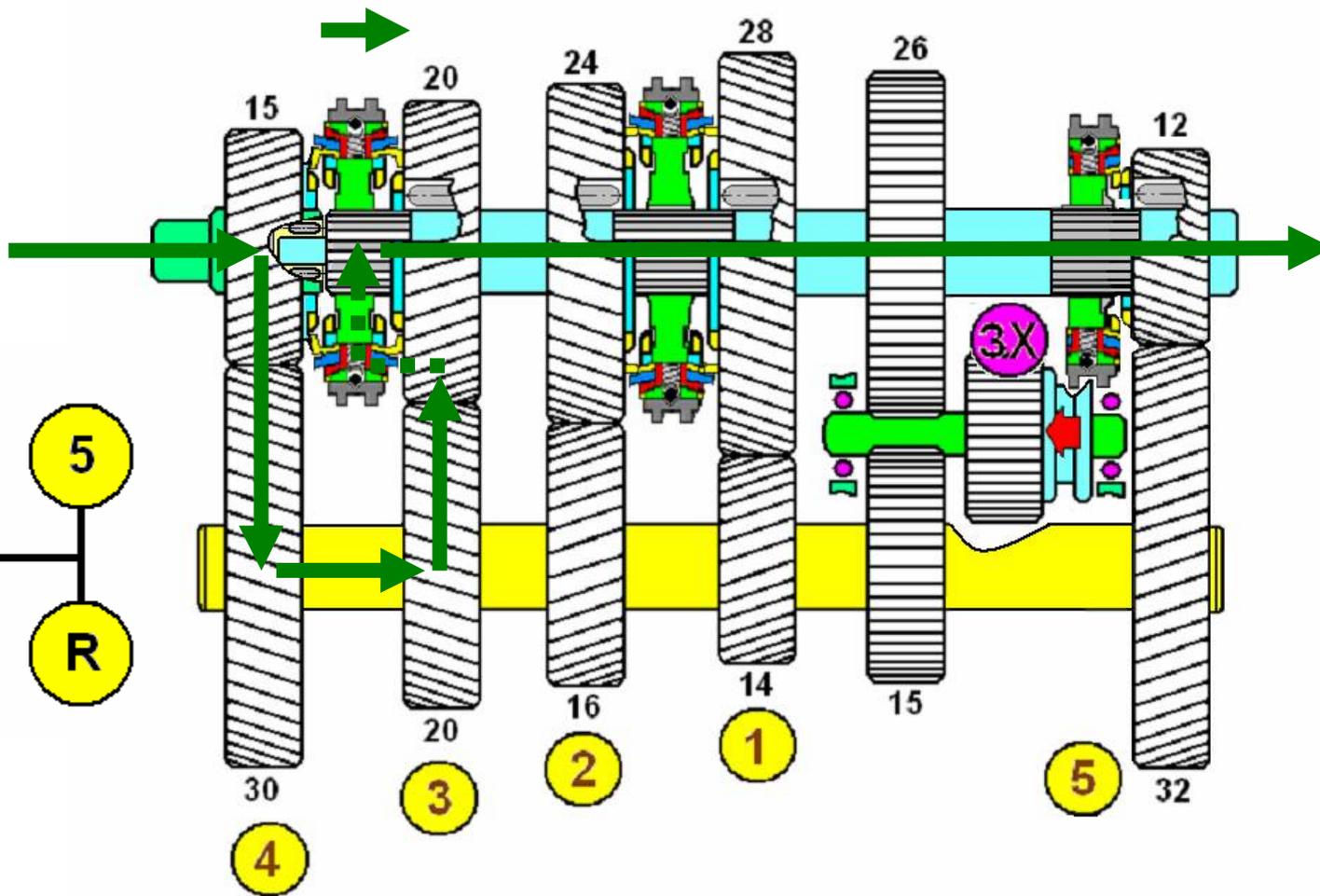
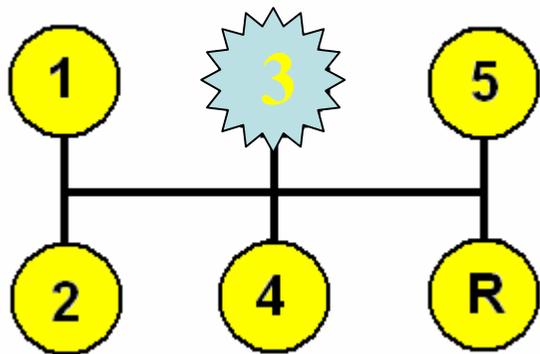
- 3. Синхронизаторы полностью исключают ударную нагрузку и шум в процессе переключения передач.
- Используют только инерционные синхронизаторы, которые блокируют включающую зубчатую муфту до тех пор, пока кинетическая энергия деталей, вращающихся вместе с ведомым диском (при выключении сцепления) не будет поглощена работой трения в синхронизаторе, что соответствует полному равенству угловых скоростей синхронизируемых элементов.

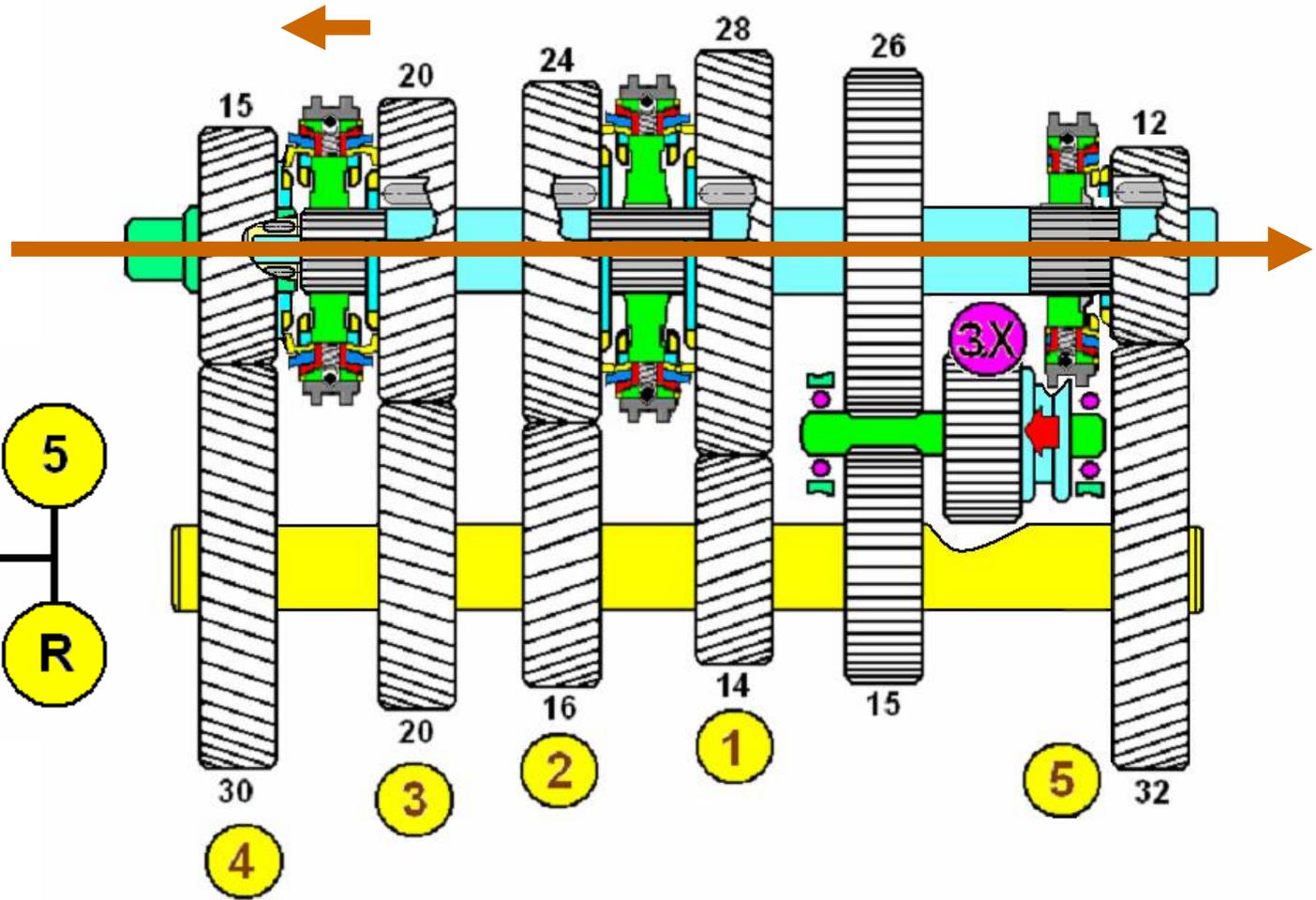
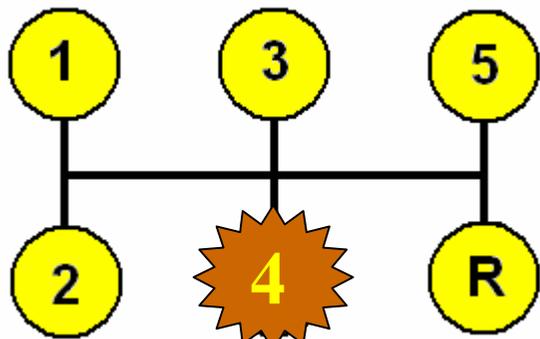


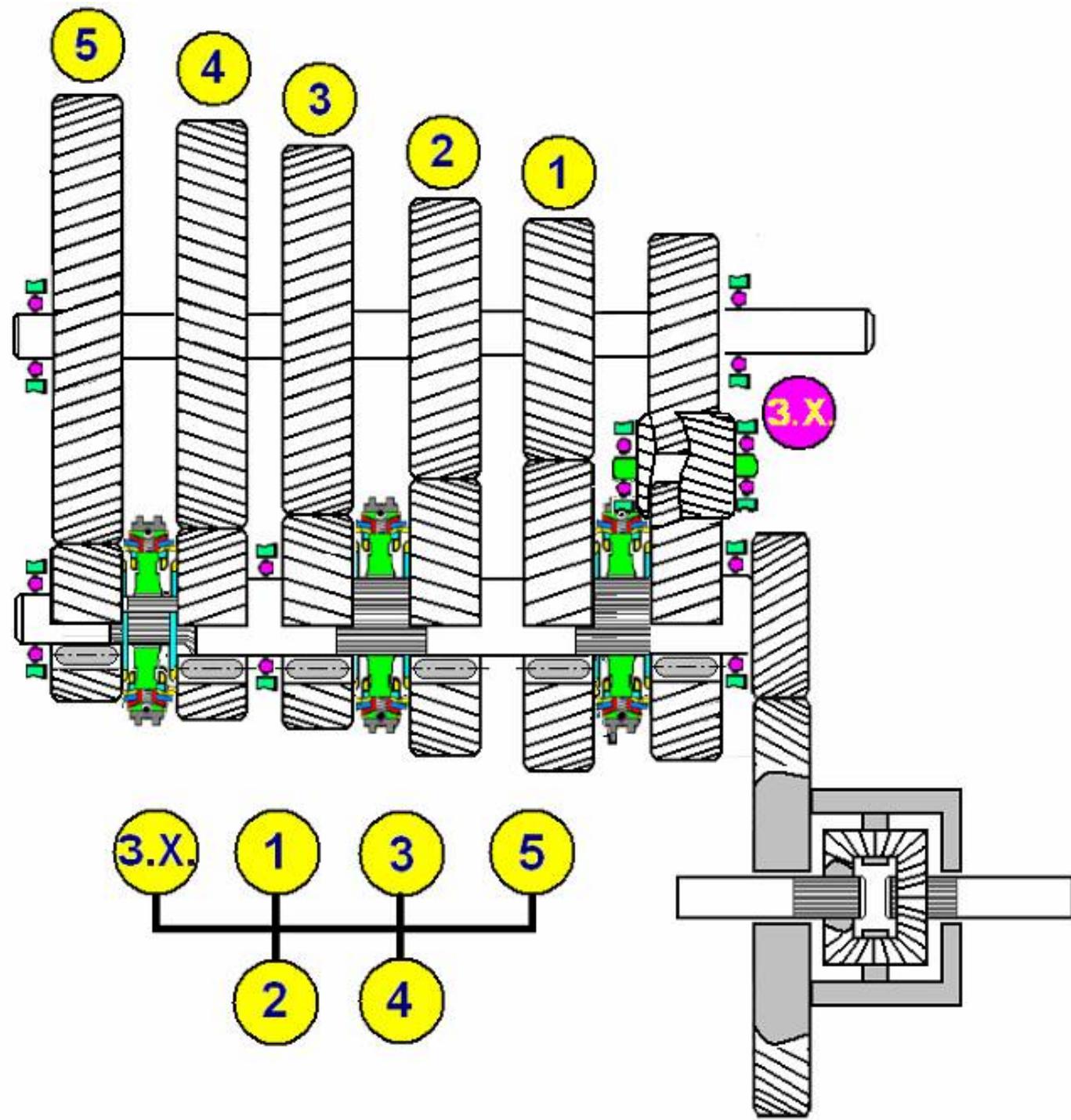








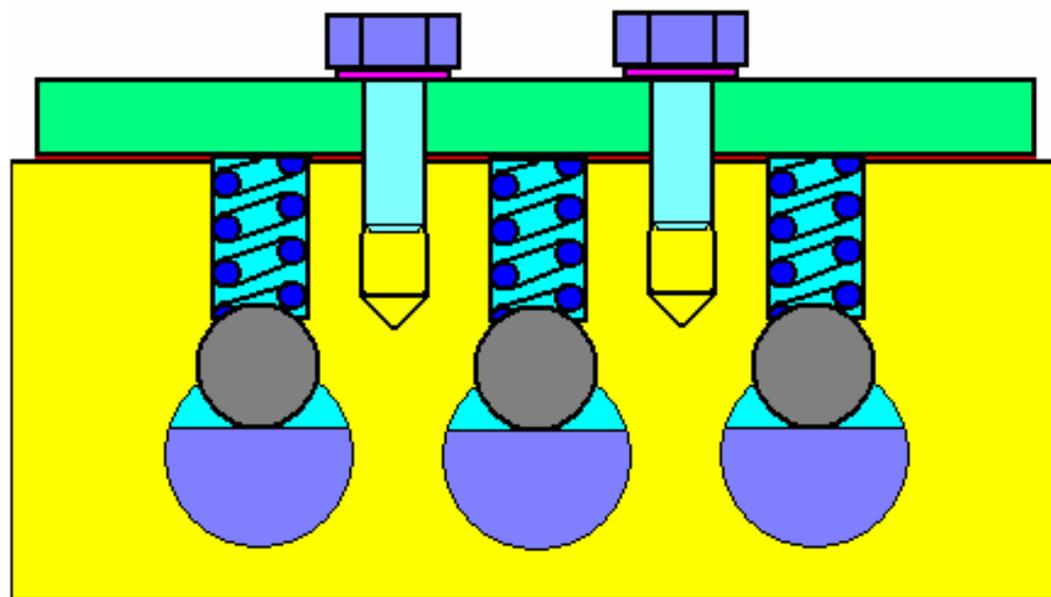




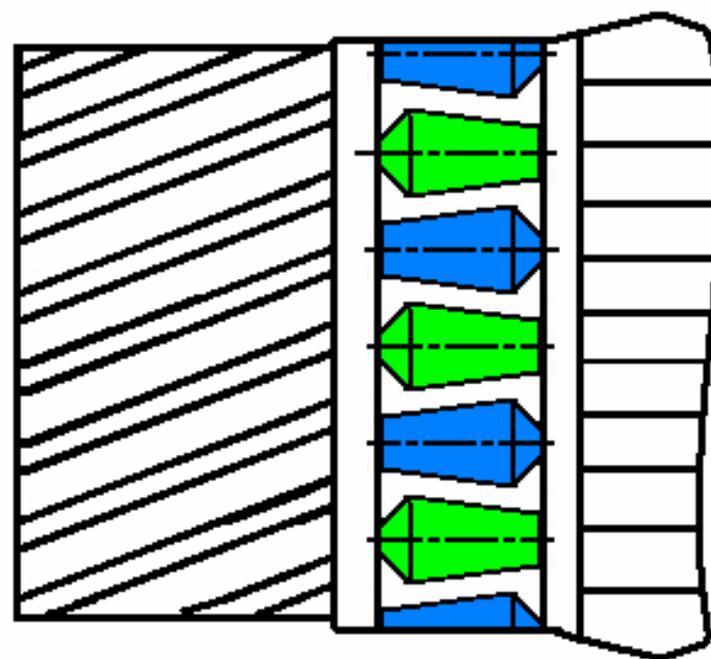
- Синхронизатор включает следующие элементы:
- - выравнивающий - фрикционный элемент, поглощает энергию касательных сил инерции вращающихся масс.
- - блокирующий – препятствует перемещению включающей зубчатой муфты до полного выравнивания угловых скоростей.
- - включающий – зубчатая муфта, включает передачу.
- Наибольшее распространение получили конусные синхронизаторы, в котором выравнивающим элементом является конусная муфта

Механизмы фиксации включенных передач

a)



b)



Преимущества механической КПП

- Наименьшая по сравнению с иными типами КПП цена.
- Намного меньшая в сравнении с гидромеханической трансмиссией масса.
- Высокий КПД по сравнению с гидромеханической трансмиссией.
- Обычно не требует отдельной системы охлаждения, как АКП.
- Несмотря на немалый прогресс в области конструирования АКП, на сегодняшний день средний автомобиль с АКП при прочих равных уступает автомобилю с МКП по топливной экономичности и динамике разгона.
- Относительная простота и отработанность конструкции.

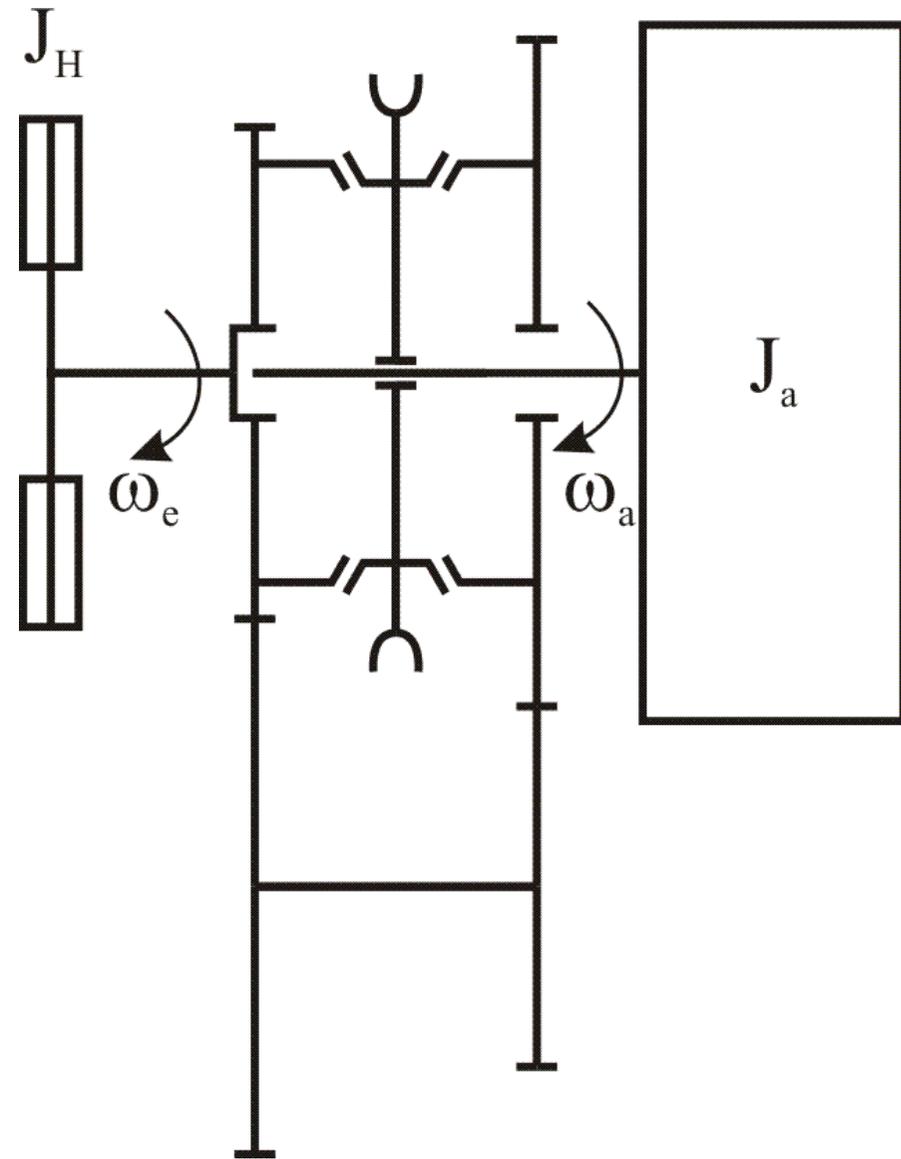
- Достаточно высокая надёжность (срок службы самой МКП без ремонта сравним со сроком службы автомобиля в целом, только сцепление требует относительно частой замены).
- Большинство моделей не требуют дефицитных или специфических расходных материалов, частого обслуживания.
- У автомобилей с МКП шире набор специальных техник вождения, опытный водитель может более эффективно использовать такой автомобиль при передвижении в гололедицу, по грязи и бездорожью.
- Автомобиль с МКП легко пускается «с толкача», может буксироваться на любое расстояние с любой скоростью.
- МКП, в отличие от гидромеханической АКП, допускает полное разобщение двигателя и трансмиссии.

Недостатки механической КПП

- Утомляющее водителя переключение передач, особенно в городском цикле и движении в пробках.
- Более сложное относительно АКП управление автомобилем, необходимость наличия специфического навыка для достижения плавного переключения передач без рывков.
- Как и у любой ступенчатой КП, невозможность плавного изменения передаточного отношения при разумном количестве ступеней, в отличие от CVT.
- Малый ресурс сцепления.

Рабочий процесс синхронизатора

Расчетная схема



- К подсистеме, имеющей суммарный приведенный момент инерции $U_{\text{п}}$, относятся:
 - - ведомый диск сцепления с ведущим валом и шестерней
 - - промежуточный вал со всеми зубчатыми колесами на нем
 - - зубчатые колеса ведомого вала, находящиеся в постоянном зацеплении с зубчатыми колесами промежуточного вала.
- К $U_{\text{а}}$ относятся вращающиеся детали, связанные с ведомым валом КПП и инерция самого автомобиля.

- Для выравнивания угловых скоростей необходимо на поверхностях конусов создать момент трения $M_{\text{тр}}$.

$$Y_n \frac{dw}{dt} = M_{\text{тр}}; \quad Y_n \int_{w_2}^{w_2} dw = \int_0^t M_{\text{тр}} dt.$$

- в процессе синхронизации $M_{\text{тр}} = \text{const}$ – допущение.

$$M_{mp} = \frac{Y_n (w_2 - w_1)}{t}.$$

$$w_1 = \frac{w_e}{U_{kni}} \quad \text{- угловая скорость ведомого вала до переключения}$$

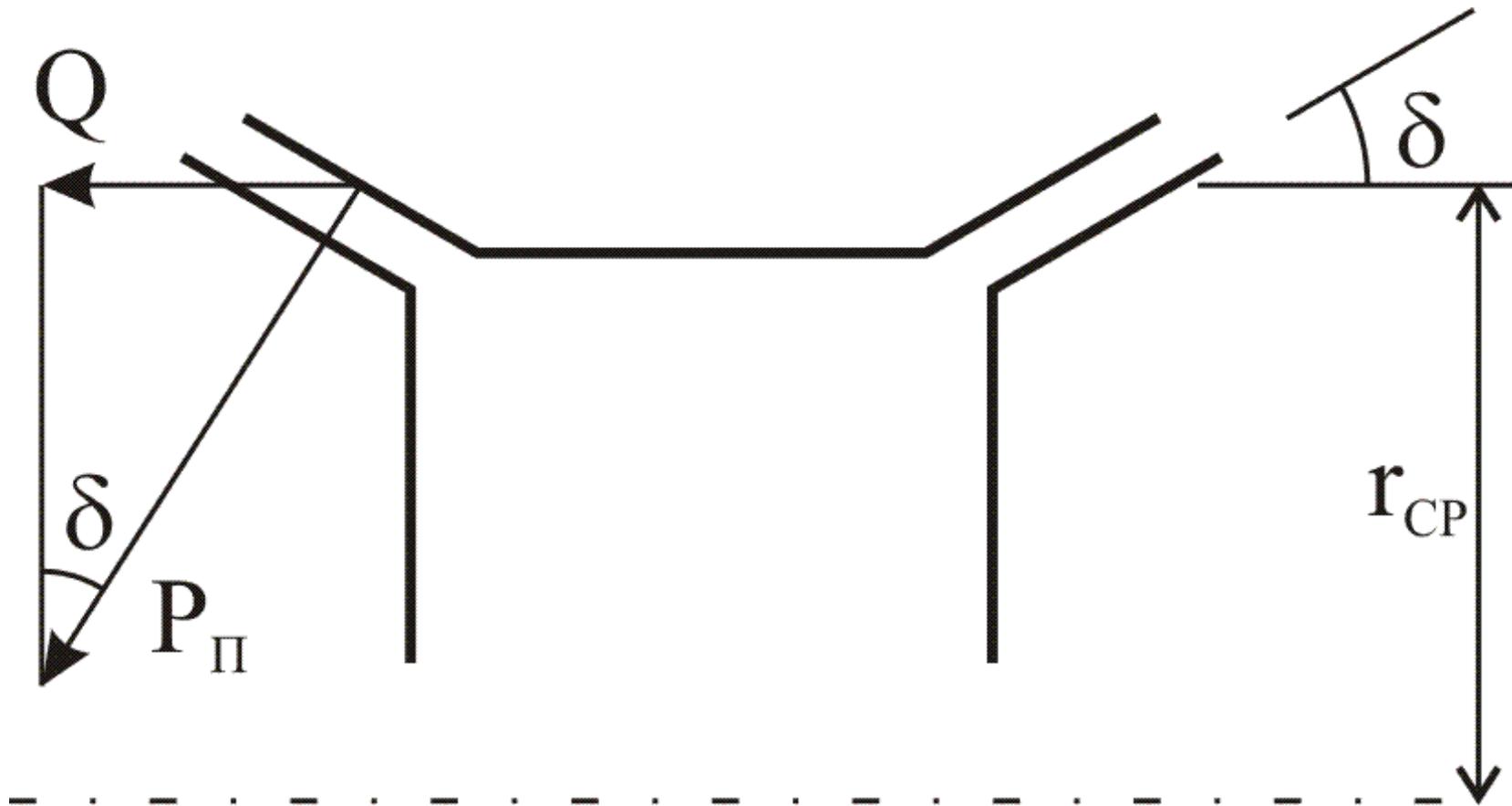
$$w_2 = \frac{w_e}{U_{kni+1}} \quad \text{угловая скорость включаемого зубчатого колеса более высокой передачи,}$$

t – время синхронизации

$$M_{mp} = \frac{y_n w_e}{t} \left(\frac{1}{U_{\kappa ni+1}} - \frac{1}{U_{\kappa ni}} \right).$$

Определение усилия водителя при переключении передач

Расчетная схема



$$M_{тр} = P_n \mu r_{cp},$$

- где P_n – нормальная сила на поверхностях трения;
- μ – коэффициент трения;
- r_{cp} – средний радиус конуса

$$P_n = \frac{Q}{\sin \delta}, \text{ где } Q \text{ – усилие, создаваемое водителем}$$

$$Q = \frac{M_{тр} \sin \delta}{\mu r_{cp}} = \frac{Y_n w_e \sin \delta}{\mu r_{cp} t} \left(\frac{1}{U_{кни+1}} - \frac{1}{U_{кни}} \right).$$

- Усилие водителя уменьшается при увеличении времени синхронизации и увеличении плотности ряда коробки передач.

Работа трения синхронизатора

$$L_c = 0,5Y_n (w_2^2 - w_1^2) = 0,5Y_n w_e^2 \left(\frac{1}{U_{кпi+1}^2} - \frac{1}{U_{кп i}^2} \right).$$

- Работа трения не зависит от времени, а зависит от разности квадратов скоростей соседних передач.
- Для уменьшения L_c необходимо увеличивать число передач, однако, при этом возрастает Y_n и следовательно L_c .

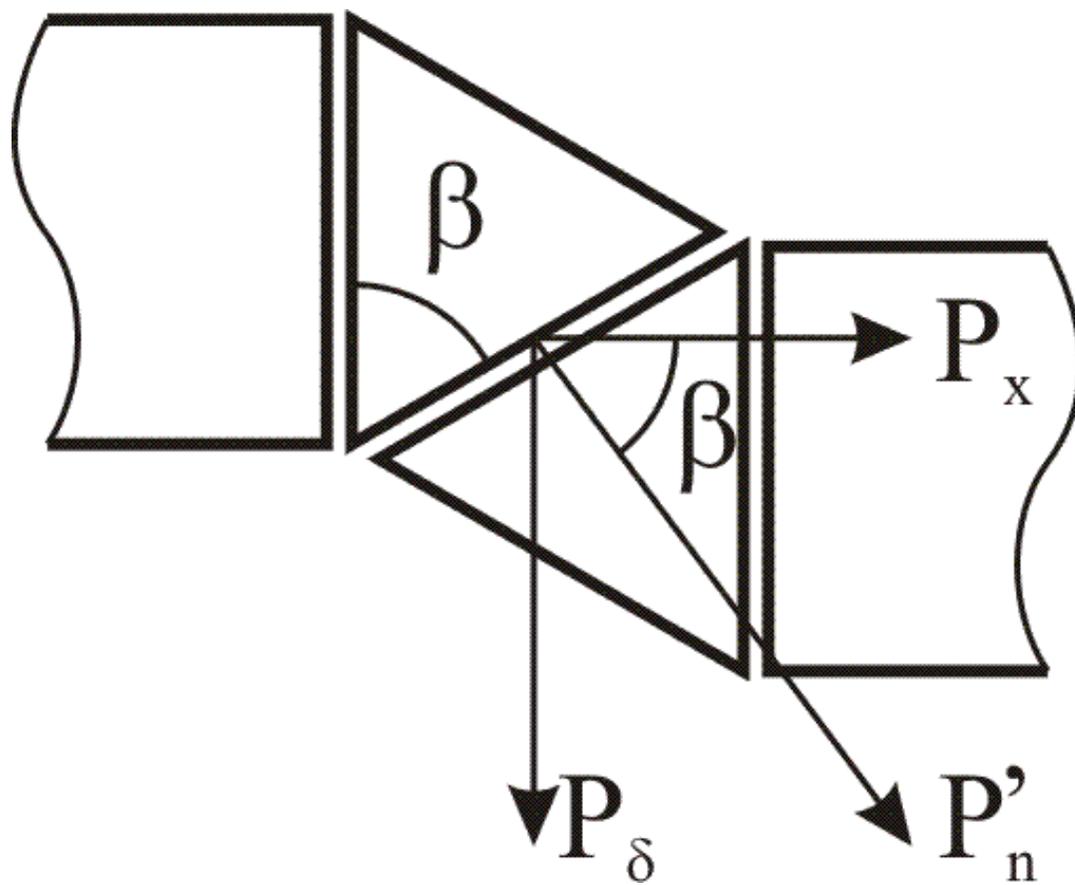
Определение нагрева синхронизатора

- Работа трения C сопровождается выделением теплоты. За одно включение нагрев:

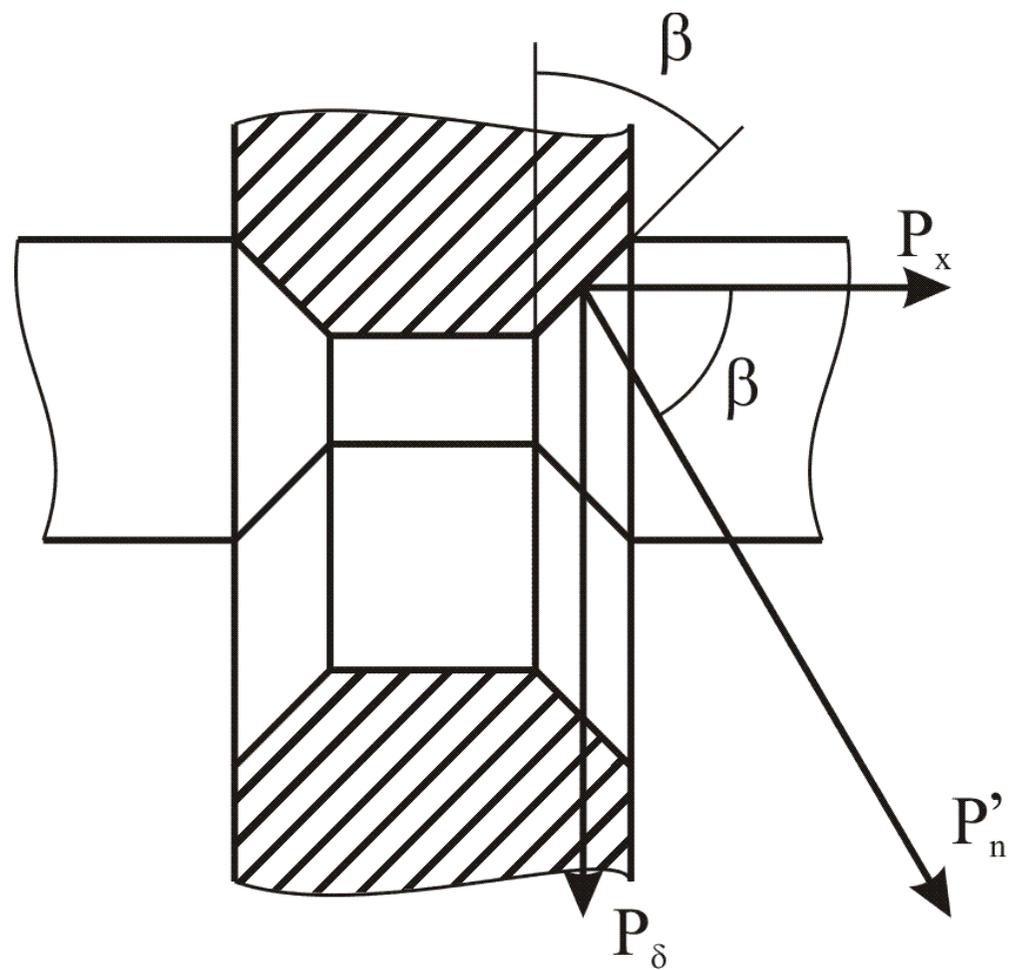
$$\Delta T = \frac{\gamma_c L_c}{m_c C},$$

- где γ_c – коэффициент перераспределения теплоты; $\gamma_c = 0,5$;
- m_c – масса синхронизатора;
- c – коэффициент теплоемкости
- $\Delta T = 15 \dots 30^\circ\text{C}$ – допустимое значение

Блокирующие устройства синхронизаторов



Блокирующие устройства синхронизаторов



- Окружная сила, прижимающая блокирующие элементы

$$P_{\delta} = \frac{M_{mp}}{r_{\delta}}$$

- где r_{δ} – радиус блокирующих элементов.

$$P_x = \frac{M_{mp}}{r_{\delta} \operatorname{tg} \beta},$$

- Чтобы передача не могла быть включена до полного выравнивания угловых скоростей, необходимо соблюдение условия: $Q < P_x$

$$Q = \frac{M_{mp} \sin \delta}{\mu r_{cp}}.$$

$$\frac{M_{mp}}{r_{\delta} \operatorname{tg} \beta} > \frac{M_{mp} \sin \delta}{\mu r_{cp}}; \operatorname{tg} \beta < \frac{\mu r_{cp}}{r_{\delta} \sin \delta}$$

- Параметры синхронизаторов:
- $\mu=0,06\dots 01$; $\beta=6\dots 12^{\circ}$; $\beta=25\dots 40^{\circ}$.
- В качестве материала для конусных колец используется бронза, на трущиеся поверхности нарезаны канавки для разрушения масляной