Вообще модуляций существует несколько – амплитудная, фазовая и частотная. Разберём их все.

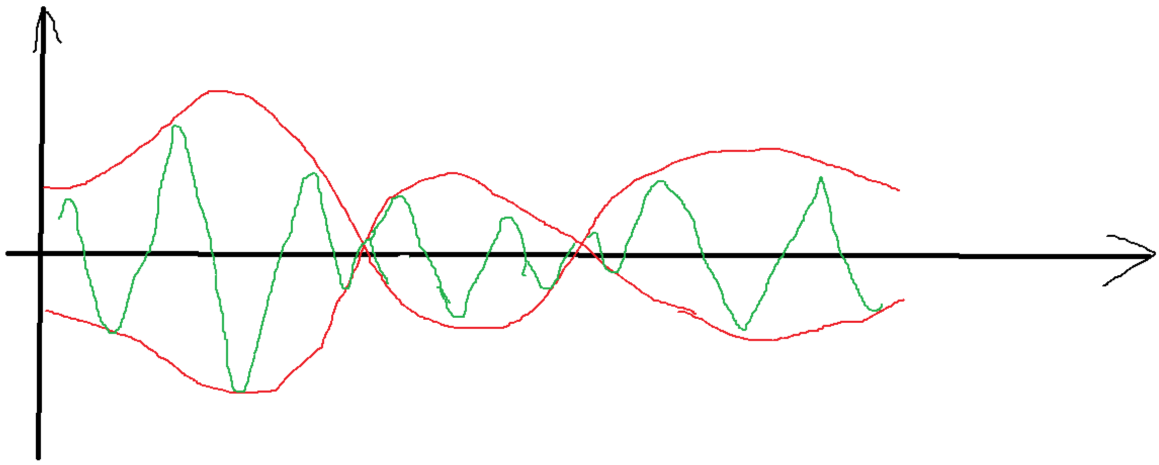
Амплитудная модуляция.

Самая понятная.

Проблема: нужно передать сигнал (например, простой синус), только частота у него маленькая (и период маленький). Из-за маленькой частоты у него и мощность маленькая, и он быстро гасится.

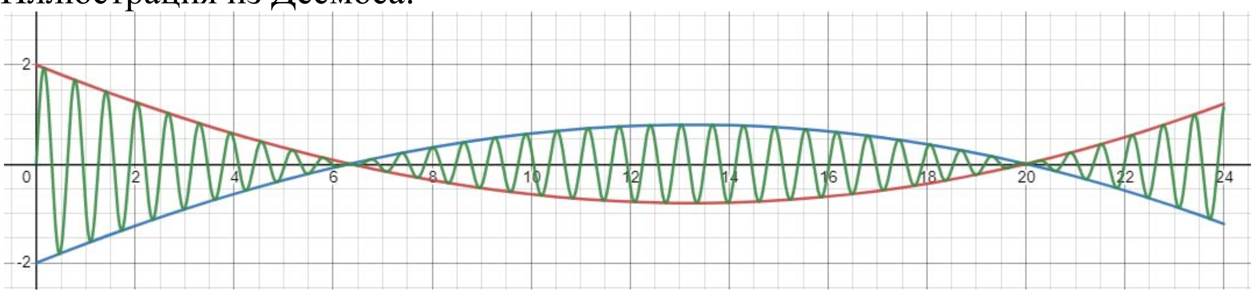
Например, у звуковых волн частота маленькая (по сравнению с э/м).

Как нам передать информацию, записанную на этом сигнале, без потерь? Ответ: вписать в неё синус.



Одна красная кривая – информативный сигнал, другая – то же, но с знаком минус.
Зелёная – то, что получилось после домножения на синус.

Иллюстрация из Десмоса:



В любом случае зелёная волна будет гораздо медленней затухать и мощней быть.

В качестве медленного меняющегося сигнала выступает сигнал, который несёт информацию. Для учебного примера берут функцию $A_{slow}(t) = A(1 + m\cos\Omega t),$, хотя она как раз никакую информацию не несёт (кроме двух числе m и Ω).

Тогда $U_{\text{AM}} = A_{slow}(t)\cos\omega_0 t,$

На лекциях ещё рассматривается Фурье-образ модуляций, мы не будем на этом останавливаться, к КР (и в целом по жизни) это не нужно. Если что, этот материал есть в методичке по теме «Модуляции к экзамену – Фурье-спектры и приборы», где я специально вынес всё то, чего нет на КР.

Фазовая модуляция. Вместо амплитуды поиздеваемся над фазой косинуса:

$$U_{ФМ} = Acos\big(\omega_0 t + \Phi_{slow}(t)\big), \qquad \Phi_{slow}(t) = msin\Omega t, \qquad \Omega \ll \omega,$$

$$U_{ФМ} = Acos(\omega_0 t + msin\Omega t) = \Re[Aexp(i\omega t + imsin\Omega t)],$$

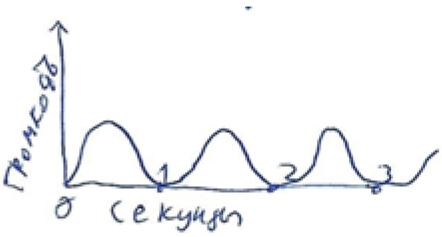
Частотная модуляция. Как можно понять из названия, здесь издеваются над фазой:

$$U(t) = U_0 \sin\{(1 + m\sin\Omega t)\,\omega_0 t\}$$

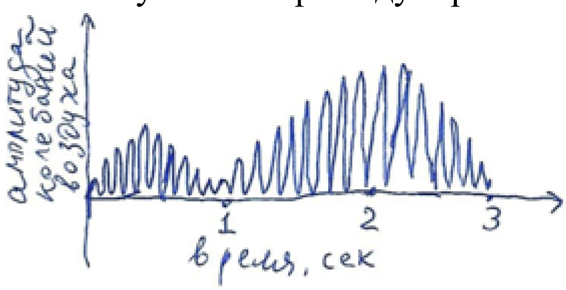
Вятчанин говорит, что там она какими-то преобразованиями сводится к фазовой.

Немного о понимании амплитудных модуляций

На первый взгляд кажется, что все эти модуляции - выдумка радиофизиков, чтобы людей запутать. Однако амплитудно-модулированные сигналы есть и в природе. Взять тот же звук. Человек слышит в диапазоне 20 Гц… 20 кГц. Однако вы сможете менять громкость своего голоса тысячи раз за секунду? Нет.
Вы можете, например, петь так, меняя громкость каэдую секунду



Период-1 с, частота – 1 Гц, что много меньше порога слышимости в 20 Гц. Почему же мы слышим такой сигнал? Потому что он промодулирован.



На самом деле он выглядит вот так:
Нам не слышно, что частота колебаний намного больше из-за того, что ухо усредняет но малому периоду. На рисунке этот малый период около 1с, в реальности он обратно пропорционален частоте (т.е. $\frac{1}{20*10^3} \dots \frac{1}{20}$ с).

А вот ещё пример. Во дворе ребёнок качается на качелях. Частота – ½ Гц (например). От качель идут волны, но мы их не слышим – почему, несмотря на то, что качели огромные? Потому что там волны и не промодулированы и там чистые ½ Гц. А вот наш голос (как и голоса животных) промодулированы матушкойприродой, поэтому мы их и слышим.

Задача с КР2 на модулированные сигналы:

4. Какие из представленных сигналов являются амплитудно-модулированными и почему?
1) $U(t)= A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot\cos(\omega_0+\Omega)t + m\cdot\cos(\omega_0-\Omega)t)$
2) $U(t)= A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot\cos(\omega_0+\Omega)t - m\cdot\cos(\omega_0-\Omega)t)$
3) $U(t)= A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot\sin(\omega_0+\Omega)t + m\cdot\sin(\omega_0-\Omega)t)$
4) $U(t)= A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot\sin(\omega_0+\Omega)t - m\cdot\sin(\omega_0-\Omega)t)$

Видим мы алгебраическую сумму трёх слагаемых, последние два с коэфом m. Применим формулы преобразования суммы/разности косинусов/синусов в произведение косинусов и синусов.
Например, в 1) мы получим $A(\cos(\omega_0 t)+m*2\cos(\omega_0 t)\cos(\Omega t))=A*\cos(\omega_0 t)*(1+2m\cos(\Omega t))$ – формулу для амплитудно-моделированного сигнала.

$$A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot 2\cos\omega_0 t\cos\Omega t) = A_0\cos\omega_0 t\cdot(1+2m\cos\Omega t)$$
$$A_0(\cos(\omega_0 t) - m\cdot 2\sin(\omega_0 t)\sin\Omega t)$$
$$A_0(\cos(\omega_0 t) + m\cdot 2\sin\omega_0 t\cos\Omega t)$$
$$A_0(\cos(\omega_0 t) + m\,2\sin\Omega t\cos\omega_0 t) = A_0\cos\omega_0 t\cdot(1+2m\sin\Omega t)$$

(жёлтым я отметил знак умножения, если что).
В 1) и 4) родится $\cos(\omega_0 t)$, что позволит его вынести за скобки, и получится формула точь-в-точь для амплитудно-моделированного сигнала (АМ-сигнал).
Напомним, что АМ-сигнал – это когда что-то не так с амплитудой:

$$U_{\text{AM}} = A_{slow}(t)\cos\omega_0 t,$$

$$A_{slow}(t) = A(1+m\cos\Omega t), \qquad \Omega \ll \omega_0, \qquad m \ll 1,$$

А именно, вылезает дополнительный множитель. Но тогда фаза косинуса остаётся нетронутой - $\omega_0 t$.
А вот в 2) и 3) родился $\sin(\omega_0 t)$, и там уже такого не будет. Что нам делать с получившимися выражениями? Применить метод дополнительного аргумента.
Напомню, в чём он заключается. Пусть у нас есть выражение $A*\cos\gamma + B*\sin\gamma$ - сумма двух тригонометрических функций одного и то же аргумента. Работать так неудобно, лучше бы свести к какой-то одной тригонометрической функции.

$$A\cos\gamma + B\sin\gamma = \sqrt{A^2+B^2}\left(\underbrace{\frac{A}{\sqrt{}}}_{\cos\varphi}\cos\gamma + \underbrace{\frac{B}{\sqrt{}}}_{\sin\varphi}\sin\gamma\right) = \sqrt{A^2+B^2}\cos(\gamma-\varphi)$$

Применим данный подход в нашей задаче.

$$A_0\sqrt{1+4m^2\cos^2\Omega t}\left(\overset{\sin\varphi(t)}{\overbrace{\frac{1}{\sqrt{}}}}\cos(\omega_0 t)+\sin(\omega_0 t)\cdot\overset{\cos\varphi(t)}{\overbrace{\frac{2m\cos\Omega t}{\sqrt{}}}}\right)=$$

$$=A_0\sqrt{1+4m^2\cos^2\Omega t}\,\left(\sin(\omega_0 t+\varphi(t))\right)$$

$$\varphi(t)=\arcsin\frac{1}{\sqrt{1+4m^2\cos\Omega t}}$$

Где

.

Это уже больше похоже на фазовую модуляцию. Помните, что я сказал, что в АМ-сигнале аргумент косинуса/синуса должен остаться без изменений? А вот тут в аргумент синуса нагло втиснулась на φ(t)? Это не по-амплитудномоделировански, но зато по-фазовомодулированcки. Ведь именно в ФМ-сигнале в аргумент косинуса/синуса что-то вживляется

$$U_{ФМ}=A\cos\left(\omega_0 t+\Phi_{slow}(t)\right),\qquad \Phi_{slow}(t)=m\sin\Omega t,\qquad \Omega\ll\omega,$$

И пускай у нас не совсем фазовая модуляция (ещё вылез множитель, зависящий от Ω), всё же это больше похоже на фазовую модуляцию.

Ответ: 1,4 – амплитудная модуляция, 2,3 – фазовая модуляция.