

Modulation /Kommunikationssystem

ELA405, Signaler och Signalbehandling
20190214, Västerås
elaine.astrand@mdh.se





Modulation

- Modulationsegenskapen hos Fourier transformen bildar basen i många kommunikationssystem där man modulerar en signal (amplitud, fas,..) för överföring.

$$s(t)p(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2\pi} [S(j\omega) * P(j\omega)]$$

→ Idéen är att signalen av intresse modulerar en annan signal (sk. bärvåg).

- Amplitudmodulering med pulståg
- Modulering med impulståg



En viktigt brygga mellan
tidskontinuerliga och
tidsdiskreta signaler



Modulation

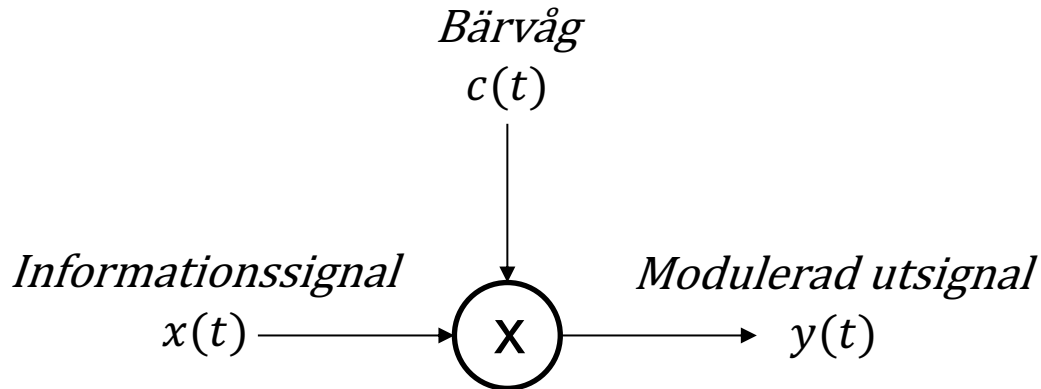
Vi kan t.ex. använda oss av en signal för att modulera amplituden av en annan signal → **amplitudmodulering**

Eller för att modulera fasen av en annan signal → **fasmodulering**

Varför vill man göra detta?

1. Man kan behöva högre frekvenser för att överföra signaler långa sträckor
2. Vid överföring av multipla signaler → måste separeras för att kunna skiljas åt på mottagarsidan

Amplitud Modulation (AM)



$$x(t)c(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2\pi} [X(j\omega) * C(j\omega)]$$

Olika typer av bärvågor används:

- puls
- sinusvåg
- komplex exponential

Amplitud Modulation (AM)

- komplex exponential

Bärvåg:

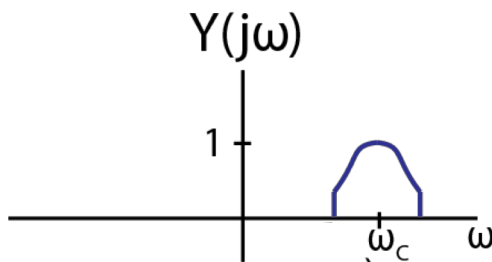
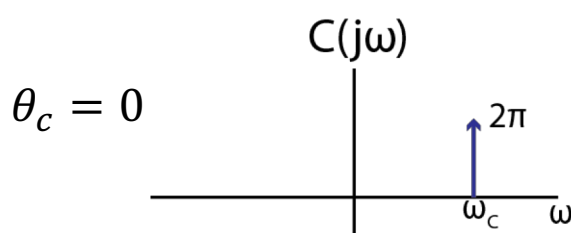
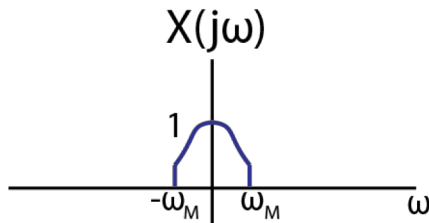
$$c(t) = e^{j(\omega_c t + \theta_c)}$$

$$= \cos(\omega_c t + \theta_c) + j \sin(\omega_c t + \theta_c)$$

Modulation:

$$x(t)c(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2\pi} [X(j\omega) * C(j\omega)]$$

Hur ser frekvensspektrat av den modulerade utsignalen ut?

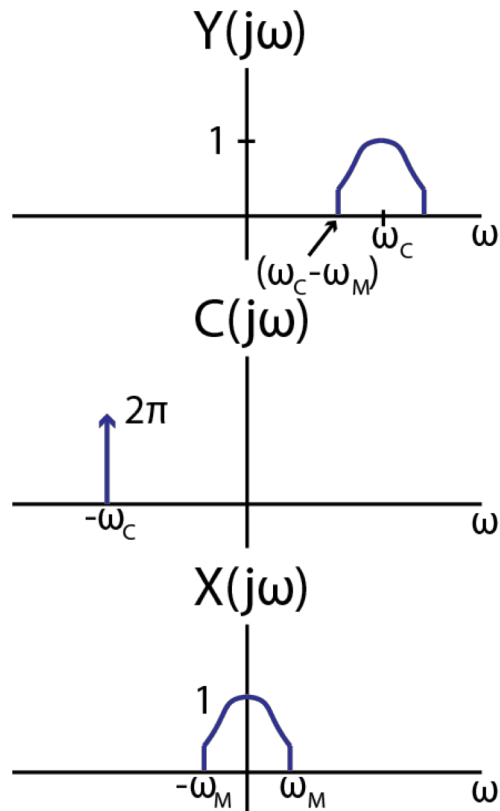


- Att amplitudmodulera en signal med en komplex exponential flyttar centerfrekvensen till runt bärvågens frekvens (bärfrekvensen)

Amplitud Modulation (AM)

- komplex exponential

Hur får vi tillbaka signalen?



Modulation:

$$x(t)c(t) \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2\pi} [X(j\omega) * C(j\omega)]$$

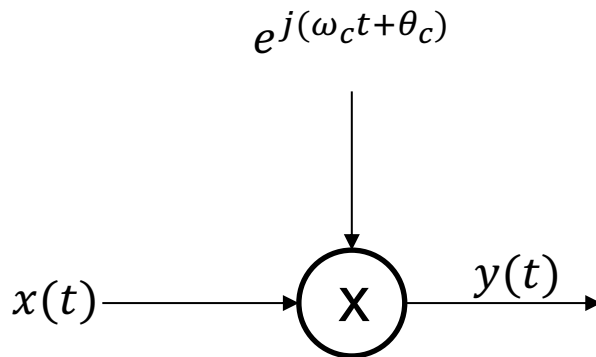
För att få tillbaka det ursprungliga frekvensspektrat så kan vi multiplicera den modulerade signalen med $e^{-j(\omega_c + \theta_c)}$, $\theta_c = 0$



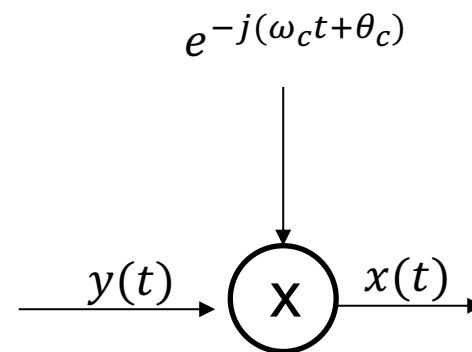
Amplitud Modulation (AM)

- komplex exponential

Modulator



Demodulator

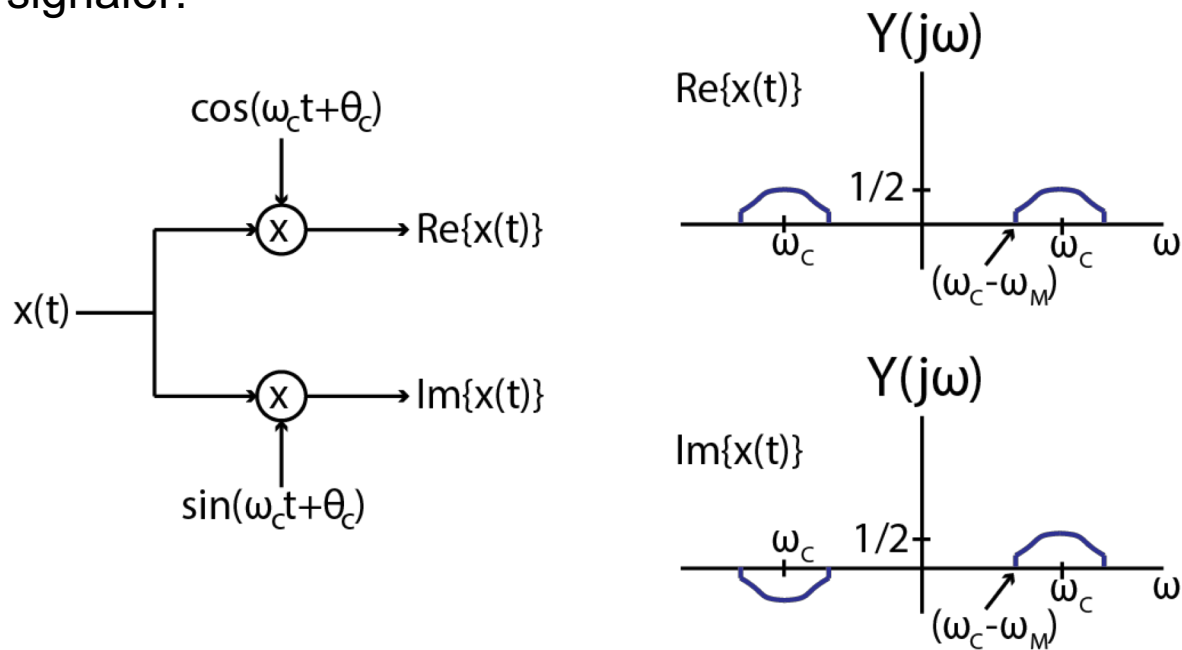


Amplitud Modulation (AM)

- komplex exponential

Hur fungerar det i den "riktiga" världen att använda en komplex exponential?

En komplex exponential är representerad av två reella signaler:

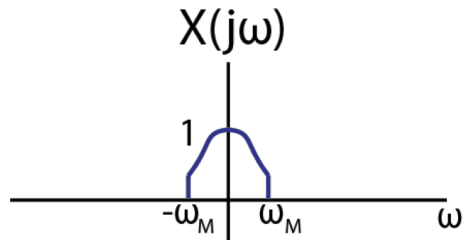


Amplitud Modulation (AM)

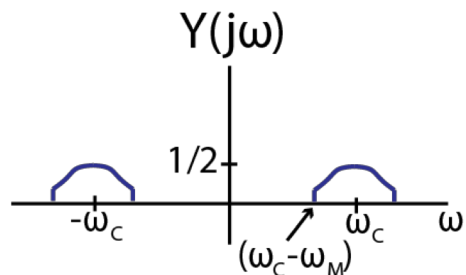
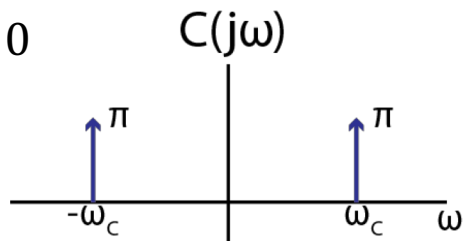
- sinusvåg

Bärrvåg:

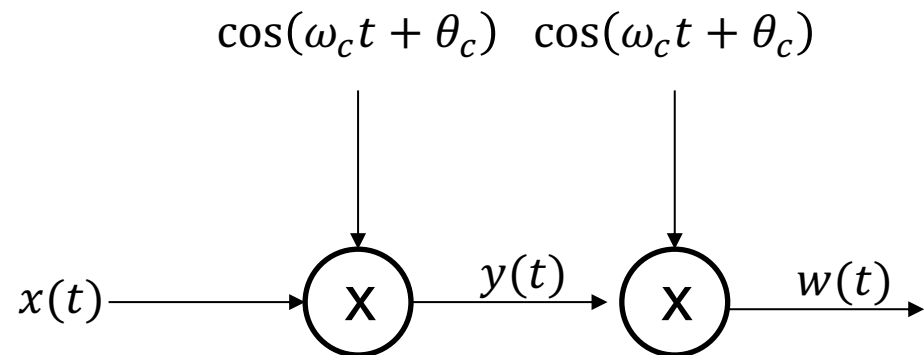
$$c(t) = \cos(\omega_c t + \theta_c) = \frac{1}{2} e^{j(\omega_c t + \theta_c)} + \frac{1}{2} e^{-j(\omega_c t + \theta_c)}$$



$\theta_c = 0$



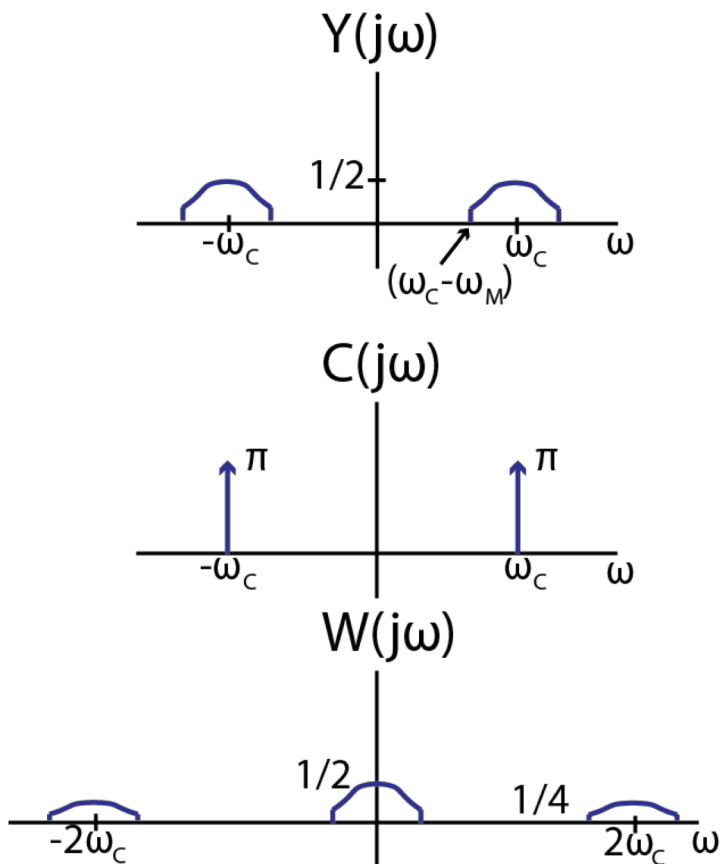
Hur får vi tillbaka den ursprungliga signalen?



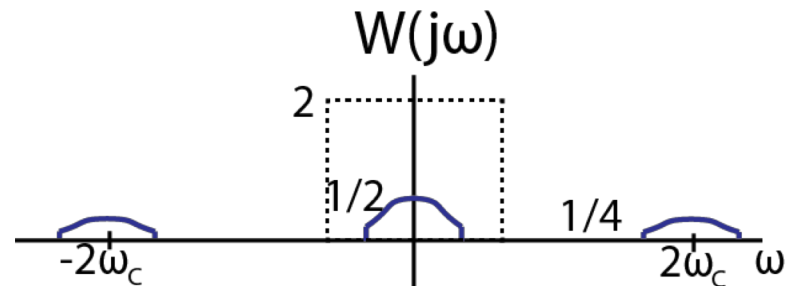
Amplitud Modulation (AM)

- sinusvåg

Hur får vi tillbaka den ursprungliga signalen?



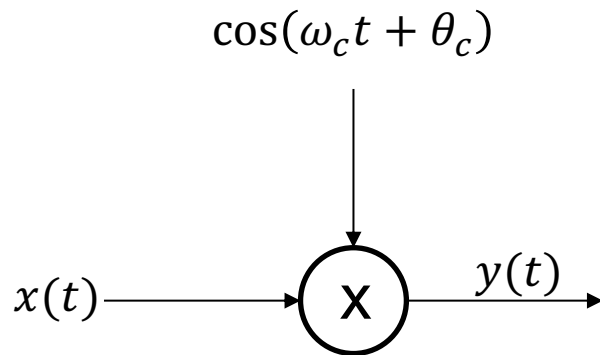
- Vi måste applicera ett lågpasfilter med amplitud 2:



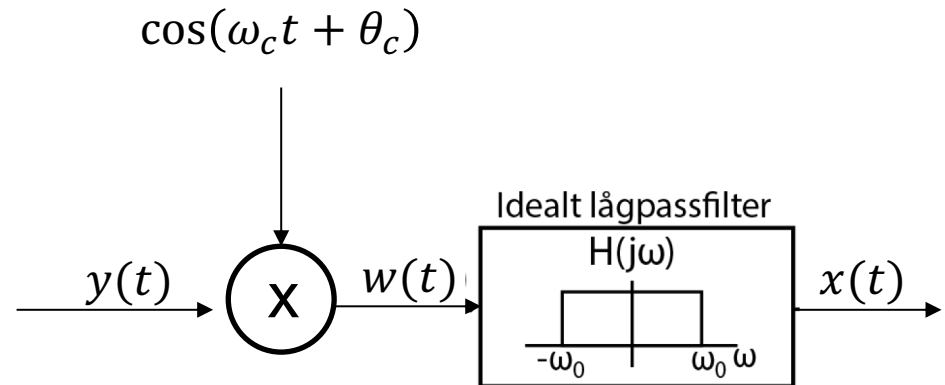
Amplitud Modulation (AM)

- sinusvåg

Modulator



Demodulator

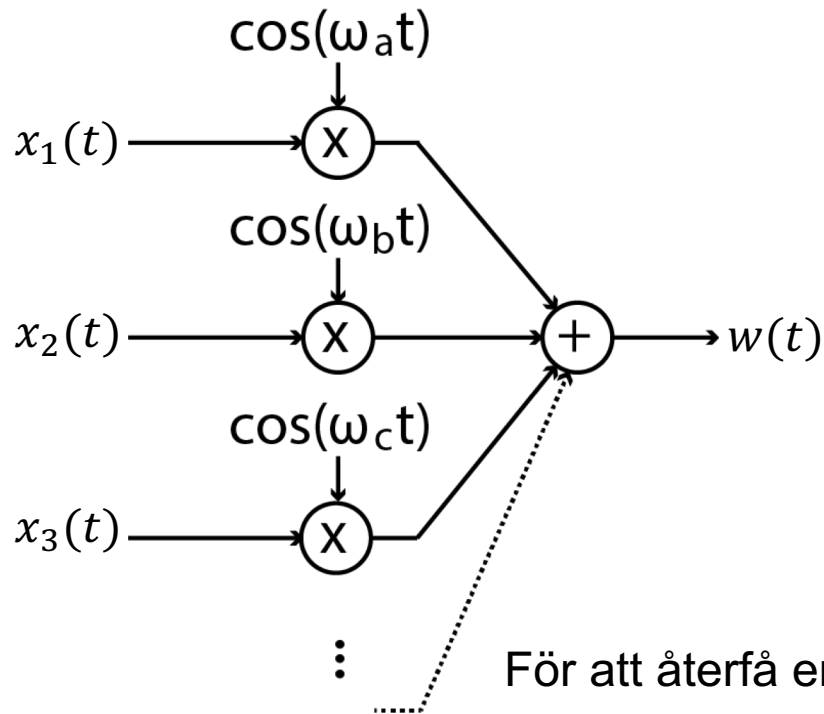


Varför vill man göra detta?

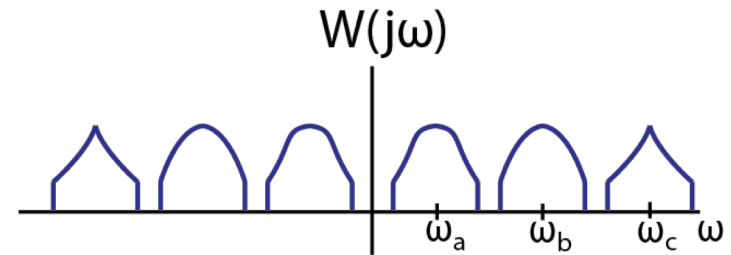
1. Materialet för långdistans-överföring kan behöva högre frekvenser än signalens egna frekvensband
2. Man kan överföra flera signaler på samma kanal genom att amplitudmodulera varje signal med bärvågor av olika bärfrekvens

→ **Multiplexing** (d.v.s. man sprider ut signalerna i frekvensled)

Frequency Division Multiplexing (FDM)

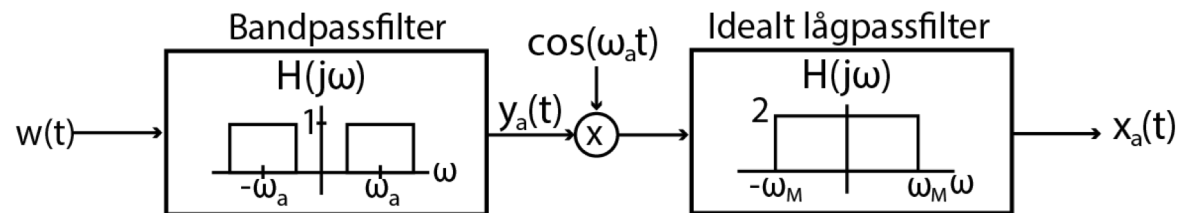


Frekvensdomänen



- Frekvensspektrat för de olika signalerna får inte överlappa!

För att återfå en av signalerna:



Demultiplexing

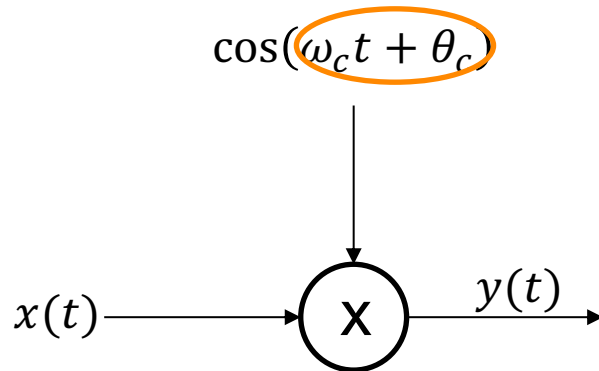
Demodulation

Amplitud Modulation (AM)

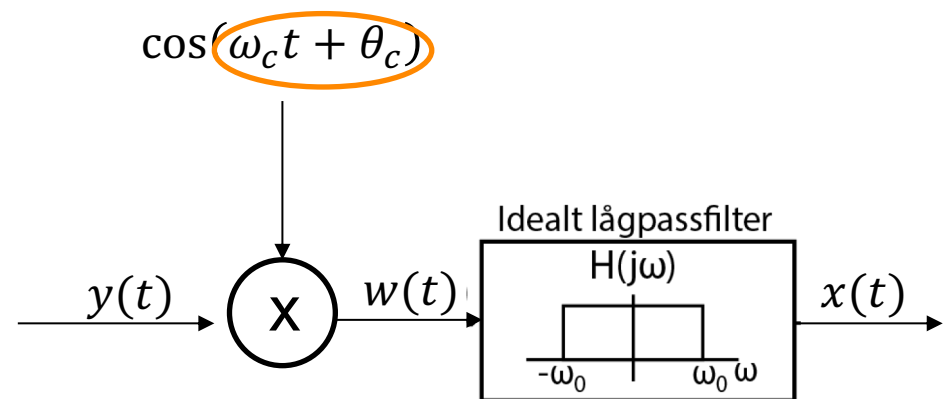
- synkron demodulation

Hittills så har vi pratat om **synkron amplitud-demodulation**.
Det innebär att sändare och mottagare är synkroniserade.

Modulator



Demodulator



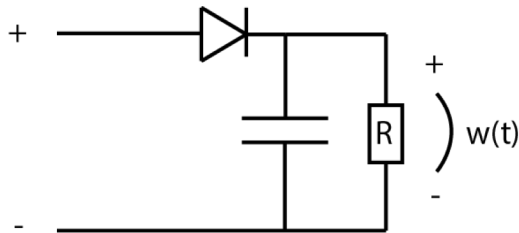
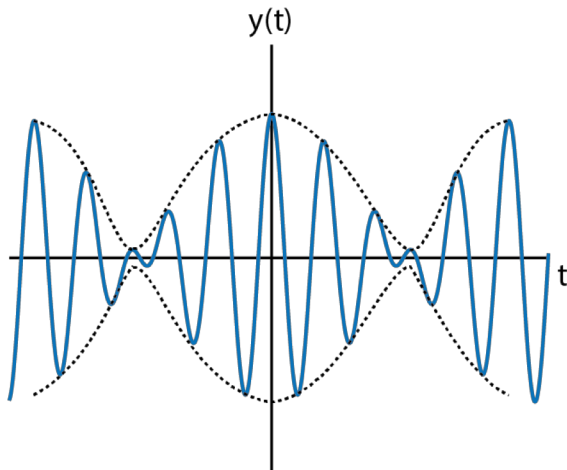
- Demodulatorn måste man ha tillgång till en bärvåg med exakt samma frekvens och fasläge som modulatorn.
- När man överför signaler över en lång sträcka kan detta vara svårt

Amplitud Modulation (AM)

- asynkron demodulation

- Synkronisera bärvågsfrekvens och fas i sändare och mottagare är kostsamt och kräver mycket stabila oscillatorer

→ **Asynkron demodulation**

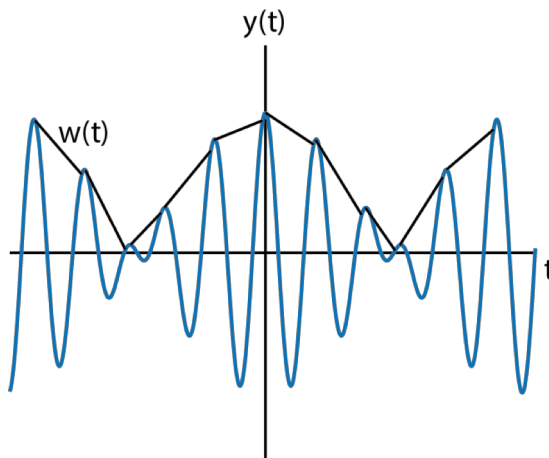


- Bärvågen finns i de snabba variationerna (höga frekvenser) och **informationssignalen** finns i de långsamma variationerna (låga frekvenser)
- För att återskapa informationssignalen räcker det att följa envelopen

Detta kan göras med en envelope-mottagare.

Amplitud Modulation (AM)

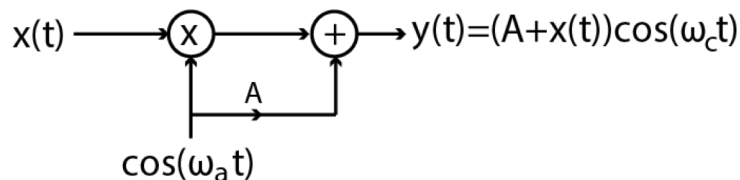
- asynkron demodulation



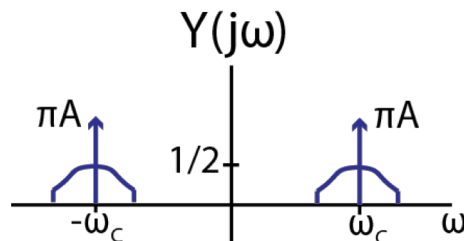
Villkor:

1. $x(t)$ måste vara positiv
2. $x(t)$ måste variera långsamt i jämförelse med bärvågen

Om $x(t)$ är negativ:



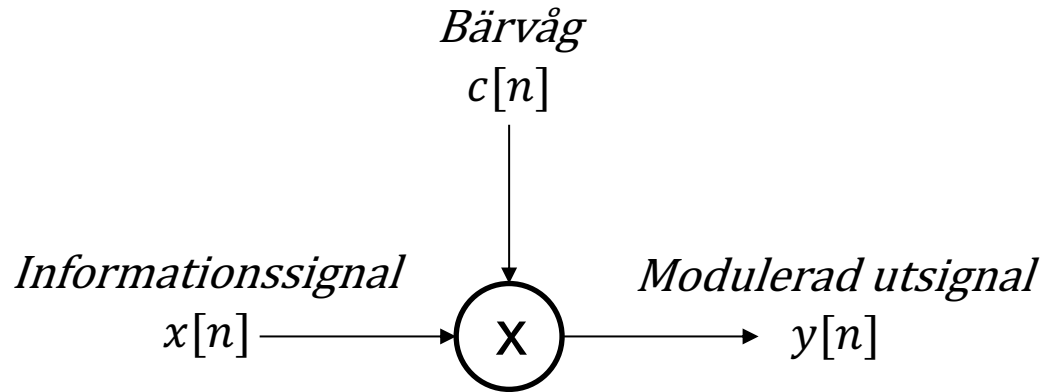
En konstant, A , läggs till $x(t)$ så att $x(t)$ alltid är positiv



Vi får en extra sinusvågskomponent i frekvensspektrat

→ mindre energieffektivt

Tidsdiskret Modulation

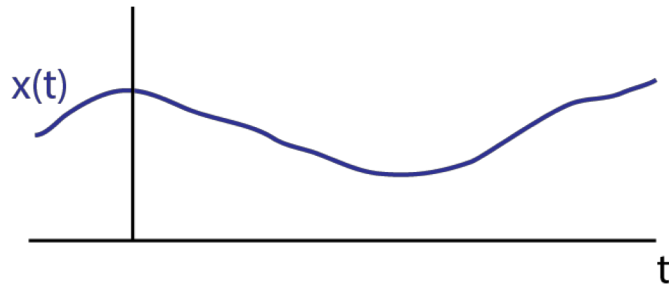
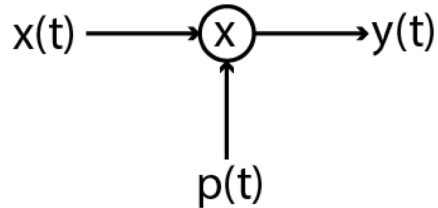


$$x[n]c[n] \xleftrightarrow{\mathcal{F}} \frac{1}{2\pi} [X(e^{j\Omega}) * C(e^{j\Omega})] = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} X(e^{j\theta}) C(e^{j(\Omega-\theta)}) d\theta$$

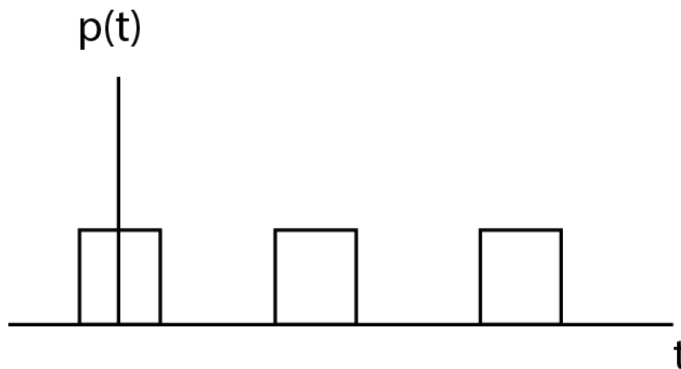
Periodisk faltning

1. $c[n] = e^{j(\Omega_c n + \theta_c)}$
2. $c[n] = \cos(\Omega_c n + \theta_c)$

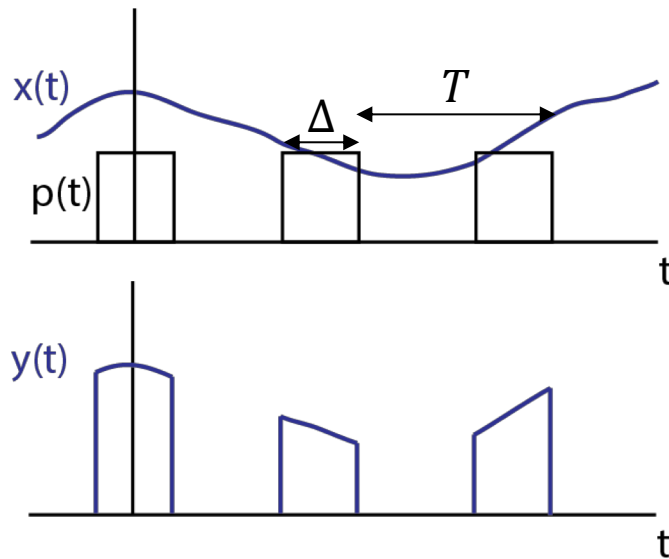
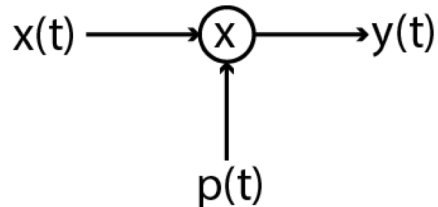
Amplitud modulation med pulståg



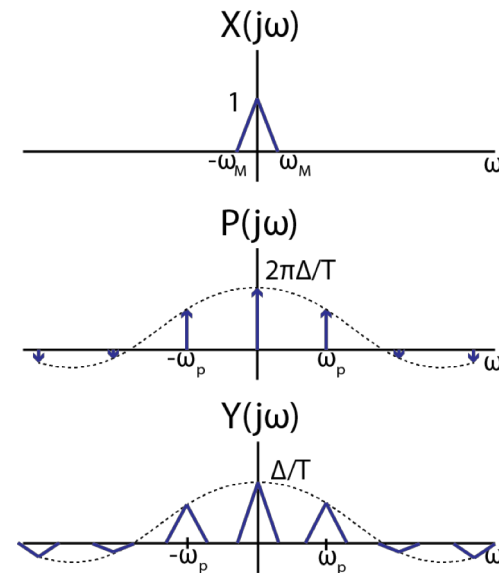
$p(t)$ är ett periodiskt pulståg



Amplitud modulation med pulståg

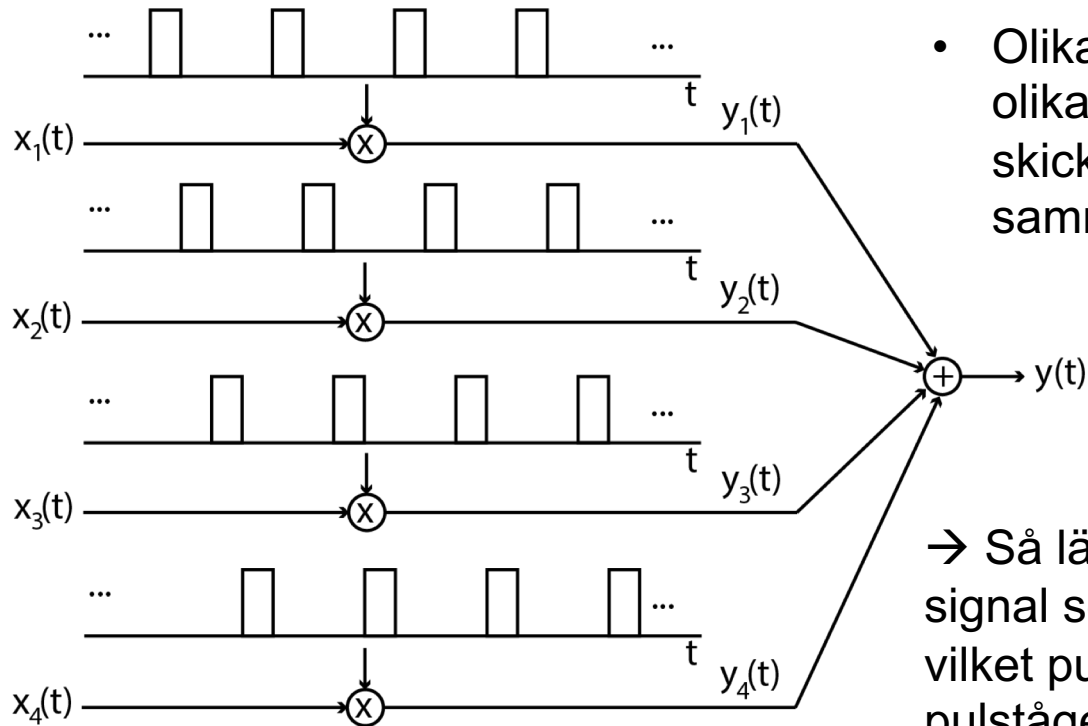


- Återskapning av den ursprungliga signalen beror inte på bredden av pulserna utan mer på perioden (eller dess frekvens)



→ Lågpasfilter för att återskapa $x(t)$

Time-Division Multiplexing (TDM)

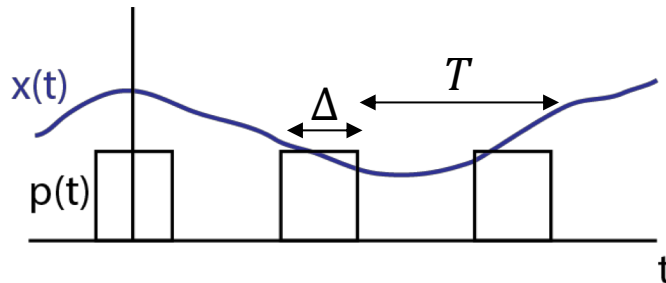


- Olika pulståg moduleras med olika signaler → vi kan skicka flera signalen på samma kanal!

→ Så länge vi vet vilken signal som är associerad till vilket pulståg och förutsatt är pulstågets frekvens är tillräckligt hög i jämförelse med signalens bandbredd så kan vi återskapa alla signaler.

Puls-amplitud modulation

I amplitud modulation med pulståg hade vi:



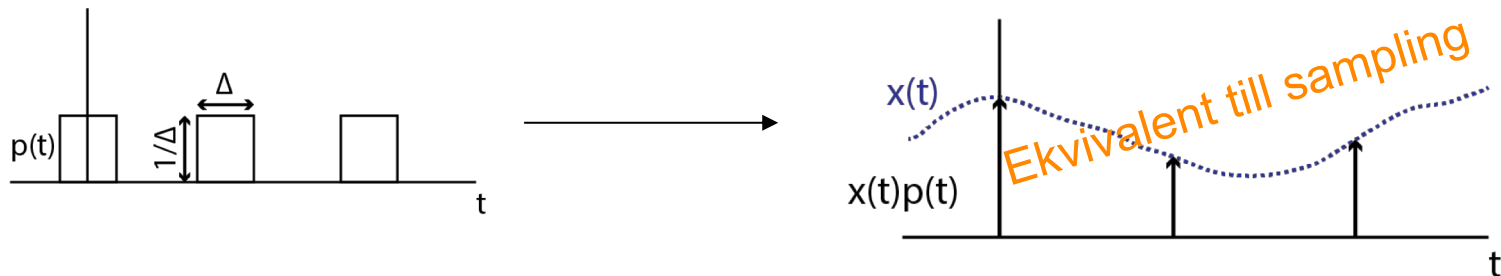
I teorin:

- Ju smalare pulserna är desto fler signaler kan skickas

I praktiken:

- Ju smalare pulserna är desto mindre energi → brusproblem

Detta löses genom att sätta arean under pulsen till ett konstant värde:



När $\Delta \rightarrow 0$ då går pulsen mot en impuls

$x(t)$ återskapas på samma sätt som amplitud modulering med pulståg



Läsning:

Oppenheim A. Signals and Systems. 2nd Ed. (2014):

Kap 8: 8.1-8.3, 8.5-8.6.2, 8.7 (översiktligt), 8.8

Gör tillhörande uppgifter