

Modulationer i trådløs kommunikation

Valg af modulationstype er et af de vigtigste valg, når man vil lave trådløs kommunikation. Den rigtige modulationstype kan afgøre, om du kan fordoble din rækkevidde og overleve interferensen. Desuden er det afgørende for strømforbruget, den nødvendige båndbredde og ikke mindst pris og kompleksitet. I denne artikel giver vi en kort oversigt over modulationer, og hvordan de påvirker kommunikationen.

Valg af modulationstype

Når vi kigger på digitale short range systemer, er der tre ting vi gerne vil have opfyldt.

- 1) Vi vil gerne have data fra node A til node B med færrest mulige fejl.
- 2) Vi vil bruge så lidt energi som muligt på at gøre dette.
- 3) Vi vil bruge så lidt båndbredde som muligt.

Der er udtænkt et hav af forskellige måder at gøre dette på. Generelt kan man sige, at informationen enten sendes ved hjælp af frekvens, fase eller amplitudevariation. I disse kan man så definere, hvor store variationer man vil have for at adskille bits, der bliver transmitteret. For at sammenligne forskellige modulationstyper bruger man typisk bit error rate (BER) grafer, som beskriver, hvor stor energi per bit, der skal bruges for at få en given bit fejlrate, når vi har en hvis mængde støj ind i receiveren. Sådanne grafer kan ses i Fig. 1.

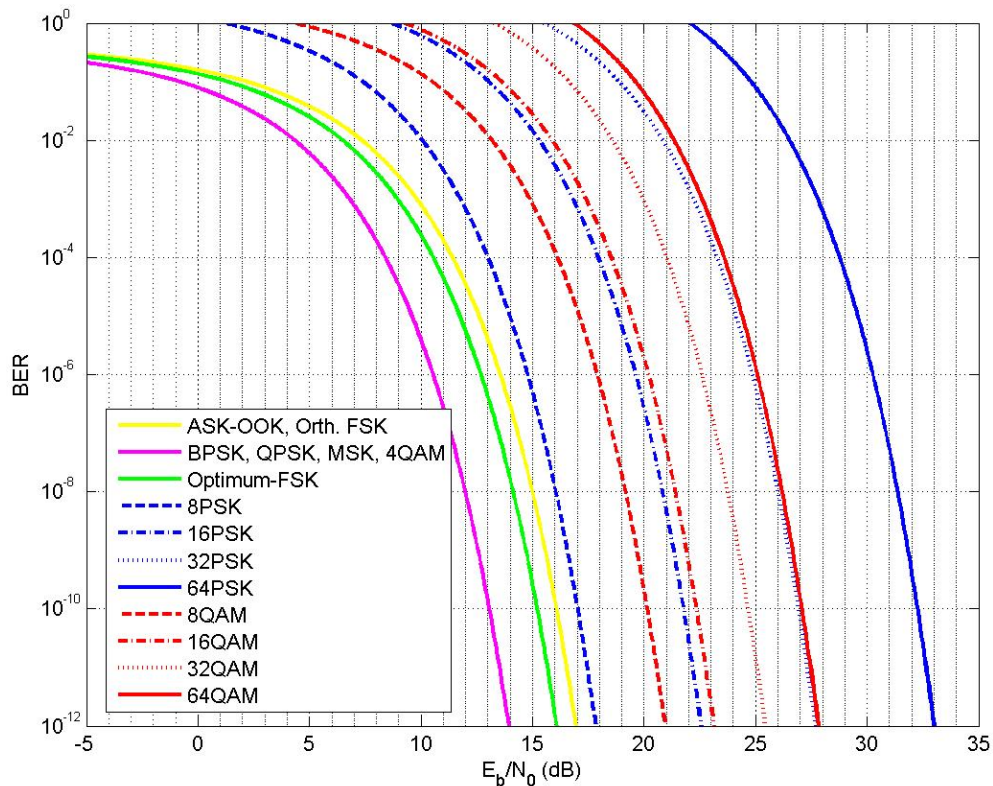
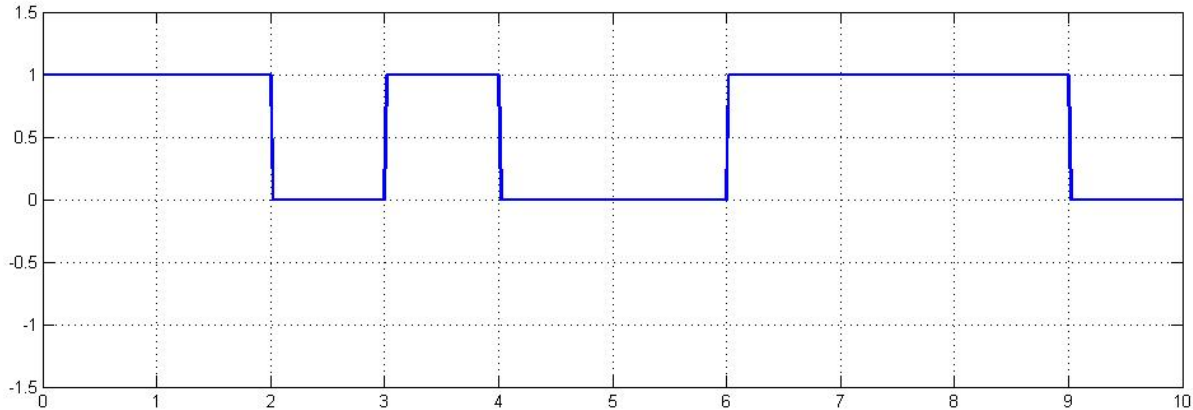


Fig. 1. BER som funktion af energi per bit over støjen der kommer ind i receiveren.

Af disse BER grafer kan vi se, at hvis vi vil benytte en 8PSK modulation i stedet for en BPSK modulation og fastholde en fejlrate på 10⁻⁶, skal vi øge energien per bit med ca. 4,5 dB. Hvorfor vil man så skifte til

8PSK, når den bruger mere energi? Fordi den kan sende mere data end BPSK, når vi bruger samme båndbredde. Valg af modulationsform er altså en ganske kompliceret proces, og mange overvejelser skal gøres.

For de fleste, der vil benytte short range teknologier, er valget dog truffet i forvejen. Det vil sige, at hvis man har valgt at benytte ZigBee, har man allerede valgt at sende med QPSK modulation. Derfor er valget ganske nemt. Det er oftest, når man vælger en proprietærløsning, at man bør tage stilling til modulationen. Dette er fx tilfældet for de fleste af short range produkterne fra Analog Devices, hvor hver af deres chips kan sættes op til flere forskellige modulationstyper¹. Ydermere har de et design studio, hvor man kan se spektret og en approximeret rækkevidde ved de forskellige modulationstyper.



PM: Phase Modulation

Fase modulation har i mange år været en meget brugt modulation. I alle systemer har man en bærebølge (carrier). Denne bærebølge bliver i fase modulation påvirket af en fasedrejning. Lad os kigge på den mest simple digitale fase modulation. Vil vi sende et "0", drejer vi fase -90 grader. Vil vi sende et "1", drejer vi derimod fasen +90 grader - altså en forskel på 180 grader i alt. Ved at detektere om vi drejer fasen -90 eller +90 grader i modtageren, kan vi altså bestemme, hvad der bliver sendt. Denne modulation bliver betegnet BPSK (Binary Phase Shift Keying), da den kun sender binære signaler med én bit ad gangen. Herfra er det ikke svært at forestille sig, at man kan udvide denne modulation til at have flere tilstande. Laver vi yderligere to ved henholdsvis 0 og 180 grader, har vi altså fire tilstande og kan derved sende to bits i hvert interval T, inden vi skifter fasen og sender de næste to bits. Disse to bits bliver betegnet som et "symbol". Når vi har fire fasetilstande i modulationen, bliver den kaldt QPSK (Quadrature Phase Shift Keying). Når man øger antallet af bits, der bliver sendt i hvert symbol, mindsker man blot afstanden i fasen. På denne måde holder man samme båndbredde, men øger derfor også muligheden for at fejldetekttere på grund af støj. De gængse afarter af fase modulationer er:

BPSK	Binary Phase Shift Keying
DPSK	Differential PSK
CPBPSK	Continuous Phase BPSK
QPSK	Quadrature PSK
DQPSK	Differential QPSK
SQPSK(OQPSK)	Staggered (offset) QPSK
$\pi/4$ -QPSK	Pi-over-4 QPSK
EDGE-8PSK	EDGE-8PSK
M-ary PSK	Fx 8-PSK eller 16-PSK

Fig. 2. Den binære sekvens der bliver sendt i eksemplerne.

¹ <http://www.analog.com/en/rfif-components/short-range-transceivers/products/index.html>

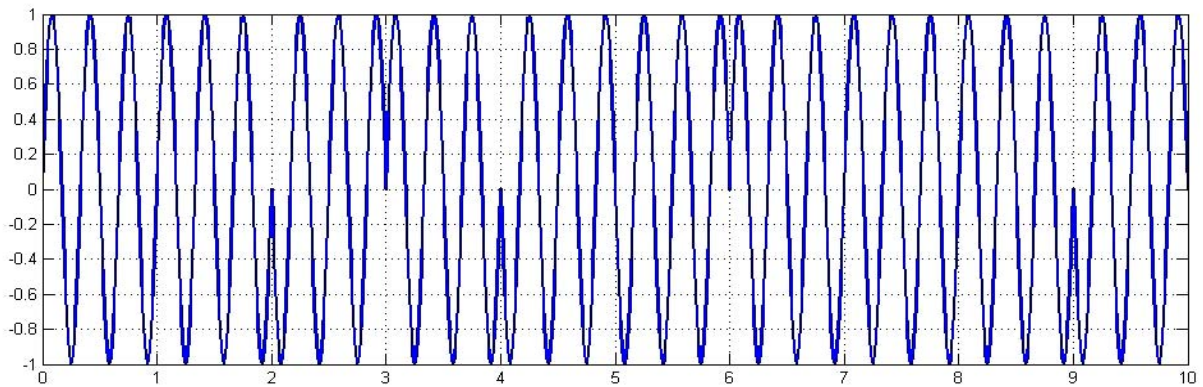


Fig. 3. Den binære sekvens efter BPSK modulation. Læg mærke til det 180 graders faseskift.

FM: Frequency Modulation

Frekvensmodulation er en modulation, hvor man i stedet for at variere fasen, varierer frekvensen af bæreboigen. Lad os igen kigge på det eksempel, hvor vi har to tilstande. Her vælger vi to frekvenser f_1 og f_2 til at repræsentere henholdsvis "0" eller "1". Derved kan receiveren detektere, om der kommer et signal med frekvensen f_1 eller f_2 og på den måde vide, hvad der blev sendt. Dette kaldes BFSK (Binary Frequency Shift Keying). Som med fasemodulationen kan man også udvide frekvensmodulationen til at sende flere bits per symbol, men i modsætning til fasemodulationen udvides båndbredden med 2 opløftet med antallet af bits per symbol, idet den næste bit skal repræsenteres med f_3 og f_4 . Derved får vi 4FSK. De gængse afarter af frekvensmodulationer er:

BFSK	Binary Frequency Shift Keying
CPBFSK	Continuous Phase Binary FSK
MFSK	Minimum FSK
MSK	Minimum Shift Keying
GMSK	Gaussian MSK
VMSK*	Very MSK
OFSK	Othorgonal FSK
SFSK	Sinusoidal FSK
M-ary FSK	Fx 3-FSK, 4-FSK eller 8-FSK
TFM	Tamed Frequency Modulation
GTFM	Generalized TFM

PAS PÅ! VMSK er en efterhånden berygtet modulation. Den beskrives som havende evne til at overføre fx 6 Mbit/s i et 1 kHz bånd, men analyserer man dybere, er dette bare et smart trick, hvor målingsmetodik bøjes.

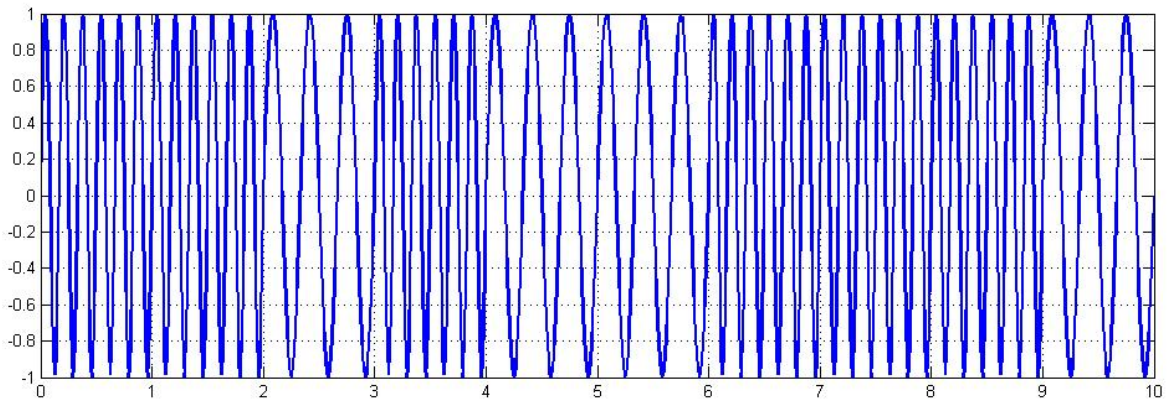


Fig. 4. Den binære sekvens efter FSK modulation.

AM: Amplitude Modulation

Amplitudemodulation er en modulation, hvor amplituden af bæreølgen ændres. Lad os antage, at vi igen blot vil sende "0" eller "1". Vi multiplicerer blot bæreølge med signalet. Derved bliver amplituden nul, når vi sender et "0" og maksimal, når vi sender et "1". I modtageren skal vi altså blot detektere om bæreølgen er tilstede eller er væk, når vi skal finde ud af, om der er sendt "1" eller "0". Denne modulation hedder OOASK (On Off Amplitude Shift Keying). Det helt store problem med denne modulation er, at vi ikke sender nogen energi, når vi sender et nul. Derved halverer vi den gennemsnitlige energi af vores transmission, hvilket selvfølgelig mindsker sandsynligheden for at gætte rigtigt.

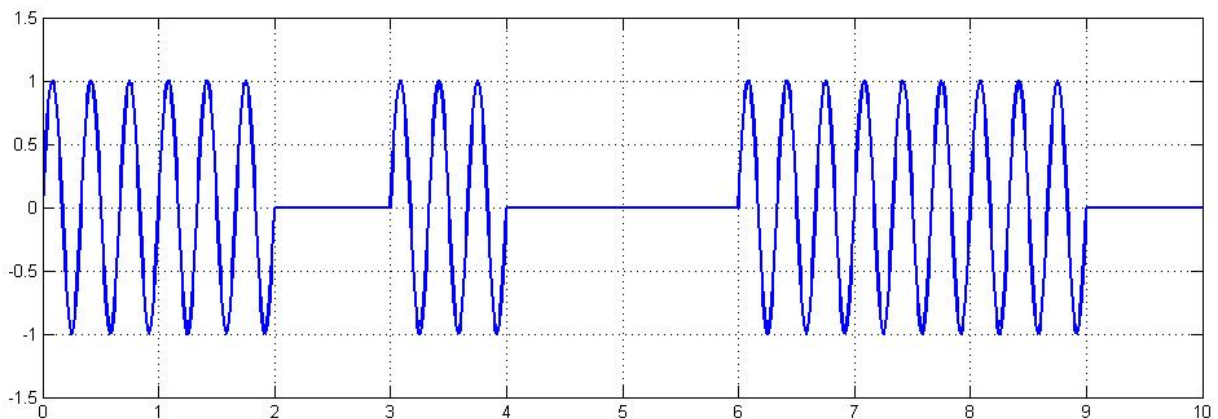


Fig. 5. Den binære sekvens efter OOASK modulation.

Udover OOASK er der også den mere generelle ASK, hvor der specificeres en modulationsdybde. Denne dybde bestemmer, hvor stor en amplitude vi benytter, når vi sender et "0". Dette er især en fordel, når den kombineres i fase modulation, hvilket er det næste, vi vil kigge på.

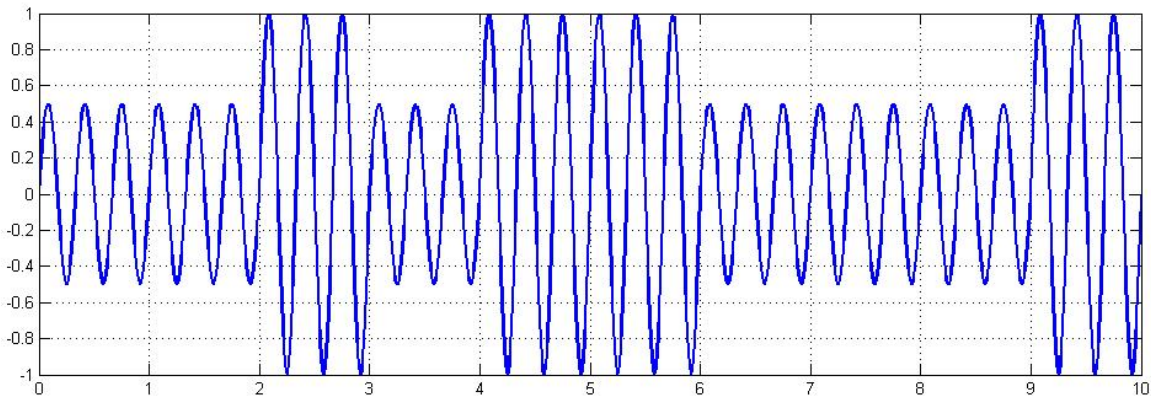


Fig. 6. Den binære sekvens efter ASK modulation med modulations dybde 0,5.

Hybrid Modulation

Vi skal selvfølgelig ikke afskrive amplitudemodulationen endnu. For kombinerer vi denne med fase modulationen viser det sig, at vi har en meget god modulation, som har nogle meget gode egenskaber - især til systemer med adaptiv datarate. Men det kommer vi ind på senere. Den af disse modulationer, som har det laveste antal bits per symbol, har tre. Man kan nemmest forstå den ved at forestille sig QPSK modulationen beskrevet ovenfor. Derved har vi de første to bits. Tilføjer vi nu endnu en QPSK, men med halv amplitude har vi endnu en bit, så ved at have to amplitudetilstande og fire fasetilstande i hver af disse, har vi altså 8 mulige tilstande, hvilket svarer til 2^3 , altså 3 bits. Denne kaldes 8QAM 8 (Quadrature Amplitude Modulation). Typisk ses disse dog med 4, 16, 32, 64, 128 og 256 tilstande. Som tommelfingerregel siger man, at for hver bit vi tilføjer, skal vi bruge 6 dB ekstra i modtaget effekt på modtageren. Det store problem med denne modulation er, at vi fra senderen til modtageren ikke kender attenuationen af signalet. Derved er det svært at sige, hvilket amplitudeniveau signalet tilhører, og derved er det svært at sige, hvad det indkomne signal skal fortolkes som i modtageren. Der er dog to måder at overleve dette på. Den første er OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), som basalt set giver os en idé om amplituden. Den anden er en såkaldt træningssekvens. Dette er en sekvens, der bliver sendt med faste intervaller og har en helt specifik bit sekvens. Når vi modtager denne, kan vi altså se, hvad vi har modtaget og sammenligne med den kendte bit sekvens. På denne måde "lærer" modtageren, hvordan de forskellige niveauer ser ud. Gængse afarter af hybridmodulationer er:

MQAM	Fx 16-Quadrature Amplitude Modulation
Star - QAM	Star QAM
Multi ring QAM	Multi ring QAM

Kodning

Kodning opfattes ofte ikke direkte som en modulationsform. Der er dog visse modulationer, som i sig selv indeholder en kodning. Dette kan fx være CPBFSK, hvor det, at fasen er kontinuert, betyder, at der ligger en hukommelse i modulationen, som selvfølgelig kan benyttes med hensyn til kodning, hvis den demoduleres på en bestemt måde. Andre traditionelle fejlkorrigerende koder har dog også en del at gøre med modulationen. Når man beregner, hvor meget energi, der skal sendes med, er det typisk i forhold til en bestemt fejlrate, fx at sandsynligheden for at fejltransmittere en bit er 10^{-5} . Hvis vi benytter en kode, der kan rette 10 ud af 11 fejl, kan vores krav til modulationen og sendestyrken derved reduceres til en fejlrate på 10^{-4} . Derved kan man tale om en "kodningsforstærkning".

Spread spectrum

Mange short range teknologier benytter sig af spread spectrum. Meningen er for det første at blive mere resistent over for interferens, og for det andet at kompensere for dårlige transmissionsforhold grundet refleksioner ved visse frekvenser. Her er der typisk tale om DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) og FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum). De to teknikker anvendes blandt andet i henholdsvis ZigBee og Bluetooth. DSSS går i bund og grund ud på, at man opdeler hver bit i flere bits ved at opdele den i såkaldte chips. Opdeler man fx i 11 chips, bliver den nødvendige datarate 11 gange så høj som en informationsstrøm. Til gengæld bliver man bedre til at håndtere refleksion fra vægge og mere robust over for andre, der benytter samme teknologi på samme bånd. Dette er ikke meget forskelligt fra de nyere mobiltelefonisystemer, der benytter sig af CDMA (Code Division Multiple Access). I FHSS beholder man derimod dataene som de er, men ”hopper” rundt over mange kanaler. Derved slipper man for at blive i et bånd, hvor der er interferens. Adaptiv FHSS har desuden hukommelse om, hvor der var interferens og venter derved længere, inden den hopper til denne kanal igen.

Konklusion

Når vi kigger på digitale short range systemer er der tre ting vi gerne vil have opfyldt.

1. Vi vil gerne have data fra node A til node B med færrest mulige fejl.
2. Vi vil bruge så lidt energi som muligt på at gøre dette.
3. Vi vil bruge så lidt båndbredde som muligt.

Her skal man dog huske på, at hvis man vælger WiFi, ZigBee, Z-Wave eller en anden fast teknologi, er der enten meget begrænset eller ingen mulighed for at ændre modulationstypen. Det er også netop derfor, at mange vælger at lave deres egen proprietære teknologi, idet de derved kan vælge den modulation, der passer til netop deres applikation.