ورود امواج الکترومغناطیسی والکترونیک در نقشه‌برداری و ژئودزی

مقاله دوم: سیگنال(۱)، مدولاسیون(۲) و دمدولاسیون(۳)

دکتر حسن شمسی

در تشریح فاصله یابهای الکترونیکی و الکترو اپتیکی به کلمهٔ سیگنال و موضوع مدولاسیون و ضد مدولاسیون زیاد برخورد می‌شود. در این مقاله می‌خواهیم مفهوم این سه اصطلاح را برای خوانندگان مجله بیان کنیم.

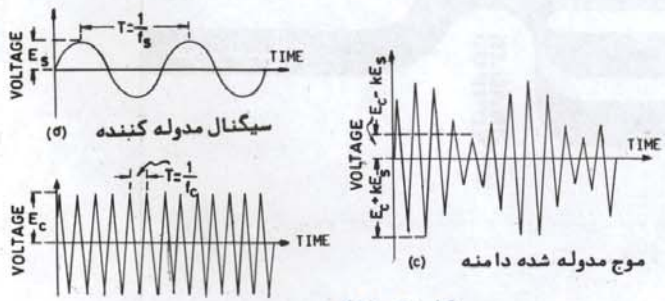
۱) سیگنال چیست؟

سیگنال نام عمومی هر ولتاژ یا جریان متغیری است که تغییرات آن حاکی از تغییرات یک پدیدهٔ طبیعی دیگر باشد، مثلاً وقتی در جلوی یک میکروفون صحبت می‌کنیم تغییرات شدت صدا مبدل به تغییرات یک ولتاژ الکتریکی در دو سر خروجی مدار میکروفون می‌شود که آنرا **سیگنال صوتی** می‌گویند. همینطور، وقتی یک نور متغیر به یک سلول فتوالکتریک بتابد تغییرات شدت نور مبدل به تغییرات یک ولتاژ الکتریکی در دو سر خروجی مدار سلول می‌شود که آن را **سیگنال نوری** می‌گویند. همینطور ممکن است تغییرات فشار باد، یا رطوبت هوا، و یا رنگ را مبدل به تغییرات یک ولتاژ الکتریکی یا یک جریان الکتریکی کرد.

۲) مدولاسیون چیست؟

در دستگاههای مخابرات و ارتباطات رادیویی، باعمل مدولاسیون، خبرها، پیغامها، سیگنالهای صوتی و تصویری را به کمک امواج رادیویی از یک محل به محل دیگر انتقال می‌دهند. به این دلیل موج رادیویی (rf) را یک **موج حامل** یا **کاریر** (Carrier) می‌گویند.

بنابر تعریف، **مدولاسیون** عبارت است از تولید یک موج رادیویی که یکی از **مشخصه‌های** آن مثلا



نگاره (۱)

دامنه، فرکانس یا فاز آن برحسب مقادیر آنی یک موج دیگر که **موج مدوله کننده** نام دارد، تغییر کند. موج مدوله کننده معمولا یک سیگنال می‌باشد. موج مدوله شده یک موج رادیویی است که طوری آنرا تغییر می‌دهند که سیگنال مورد نظر را حمل کند (موج حامل مدوله شده). فرض می کنیم که معادله یک موج رادیویی حامل چنین باشد:

$$e = A \cos(\omega t + \theta) \qquad (۱)$$

که در آن t زمان میباشد. اگر A، ω، و یا θ برطبق مقادیر آنی یک موج مدوله کننده تغییر داده شوند، عبارت حاصله پس از تغییر، یک موج مدوله شده را نشان می‌دهد.

درمدولاسیون دامنه، دامنهٔ A برطبق مقادیر آنی موج مدوله کننده تغییر می کند ولی ω و θ هردو ثابت باقی می‌مانند.

درمدولاسیون فرکانس، فرکانس ω تغییر می کند ($\omega = 2\pi f$) ولی A و θ هردو ثابت باقی می‌مانند.

درمدولاسیون فاز، فاز θ تغییر می کند، ولی A و ω هردو ثابت باقی می‌مانند.

۳) بررسی موج مدوله شدهٔ دامنه

یک موج مدوله شدهٔ دامنه در نگارهٔ (۱) نشان داده شده است.

دراین نگاره شکل (a) نمایش سیگنال مدوله کننده به صورت یک ولتاژ سینوسی به دامنهٔ E_s و فرکانس f_s و فرکانس زاویه‌ای ω_s است:

$$e_s = E_s \sin \omega_s t = E_s \sin 2\pi f_s t$$

شکل (b) نیز نمایش موج حامل به صورت یک ولتاژ rf سینوسی به دامنهٔ E_c و فرکانس f_c و فرکانس زاویه‌ای ω_c می‌باشد.

$$e_c = E_c \sin \omega_c t = E_c \sin 2\pi f_c t \qquad (۲)$$

فرکانس f_c خیلی بزرگتر از f_s فرض شده است، مثلا f_c ممکن است یک فرکانس رادیویی ۱۰۰۰ کیلو هرتز و f_s یک فرکانس صوتی یک کیلو هرتز باشند (کیلوهرتز یعنی کیلوسیکل) شکل (c) در نگاره (۱) نمایش موج مدوله شدهٔ (به صورت ولتاژ) دامنه می‌باشد. همانطور که می‌بینیم دامنه موج مدوله شده به طور سیکلی در فرکانس f_s بازمان تغییر می کند و تغییر دامنه آن در تمام لحظات متناسب است با تغییرات مقدار آنی سیگنال. می توان گفت که موج حامل رادیویی پس از **مدولاسیون سیگنال دار** می‌شود.

در نگاره (۲) شکل مستطیلی وسط نمایش عضوی است که عمل مدولاسیون دامنه در داخل آن انجام می‌گیرد. موج حامل و سیگنال مدوله کننده هردو وارد این عضو مدولاتور می‌شوند و موج حامل مدوله شدهٔ دامنه از آن خارج می‌شود.

به طور کلی، اثر مدولاسیون دامنه عبارت است از تغییر دادن دامنه به طوری که دیگر دارای مقدار ثابت E_c نباشد بلکه برحسب زمان در بالا و پایین مقدار E_c نوسان کند. در شکل (c) نگارهٔ (۱) تغییرات دامنه حول E_c سینوسی است به طوری که می‌توان این دامنهٔ متغیر را به صورت معادلهٔ زیر نوشت

$$(E_c + KE_s \sin \omega_s t)$$

که در آن ضریب K بستگی دارد به مدار مدولاتور. مقدار ما کزیمم این عبارت مساوی $E_c + KE_s$ است و مقدار می‌نیمم آن $E_c - KE_s$ می‌باشد. پس اگر در معادلهٔ (۳) به جای دامنهٔ E_c مقدار عبارت فوق قرار داده شود، شکل معادلهٔ موج مدوله شده دامنه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$e = (E_c + KE_s \sin \omega_s t) \sin \omega_c t \qquad (۴)$$

نسبت $\frac{KE_s}{E_c}$ را **ضریب مدولاسیون** می گویند و آنرا با علامت m_a نشان می دهند. پس می توان معادلهٔ (۴) را به صورت زیر نوشت:

$$e = E_c(1 + m_a \sin \omega_s t) \sin \omega_c t$$

ضریب m_a **درجهٔ مدولاسیون** را تعیین می کند و آن بین صفر و یک دارای تغییر است. معادله (۵) شکل نهایی موج مدوله شدهٔ دامنه است. مدولاسیون دامنه نشان می‌دهد که سیگنال مدوله کننده بر موج رادیویی سوار شده است.

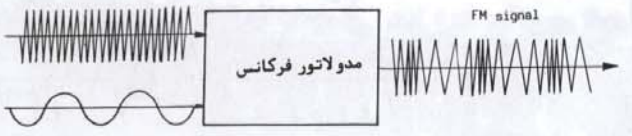
۴) مدولاسیون فرکانس

در مدولاسیون فرکانس، فرکانس آنی یک موج حامل در بالا و پایین فرکانس مدوله نشده‌اش به طور متناسب با مقادیر آنی سیگنال مدوله کننده تغییر داده می‌شود در حالی که دامنهٔ موج ثابت باقی می‌ماند. در نگاره (۳) مستطیل وسط نشان دهندهٔ عضویست که عمل مدولاسیون فرکانس در داخل آن انجام می‌گیرد.

موج حامل و سیگنال مدوله کننده هر دو وارد این عضو مدولاتور فرکانس می‌شوند و موج حامل مدوله شده فرکانس (یا FM) از آن خارج می‌شود،

در نگارهٔ (۴) موج حامل مدوله نشده دارای یک فرکانس f_c و یک دامنه A_c است (شکل بالایی). سیگنال مدوله کننده دارای فرکانس f_s و یک دامنه A_s می‌باشد (شکل وسطی). فرکانس آنی سوج مدوله شده بطور سینوسی در بالا و پایین ترازمتوسط آن، با زمان تغییر می کند (شکل پایینی). تعداد دفعاتی که موج در هرثانیه یک سیکل کامل تغییرات فرکانس را اجرا می کند مساوی f_s است. مقدار Δf و بنابراین ردیف تغییرات فرکانس متناسب است با دامنهٔ سیگنال مدوله کننده و بستگی

نگاره (۲)



نگاره (۳)

به فرکانس سیگنال ندارد یعنی $\Delta f = K_1 . A_s$ مقدار ثابت تناسب K_1 بستگی دارد به مشخصات مدارهایی که برای اجرای مدولاسیون فرکانس به کار برده می‌شود.

مثال: فرض می کنیم که یک موج حامل ۱۰۰ مگاهرتز (MHZ) به توسط یک سیگنال سینوسی مدولاسیون فرکانس شده باشد و برای سیستم مدولاسیون مفروض به ازای هر ولت از مقدار سیگنال دو کیلوهرتز (KHZ) تغییر فرکانس وجود داشته باشد. آن وقت اگر سیگنال مدوله کننده دارای دامنهٔ ۲۰ ولت و فرکانس یک کیلوهرتز باشد، فرکانس آنی موج مدوله شده بین ۹۹٫۹۰ مگاهرتز و ۱۰۰٫۰۰ مگاهرتز در یک نرخ ۱۰۰۰ دفعه در هر ثانیه تغییر خواهد کرد. اگر فرکانس سیگنال نصف شود ولی دامنهٔ آن ثابت باقی بماند، آن‌وقت سیکل تغییرات فرکانس ۵۰۰ دفعه در هرثانیه روی ردیف تغییرات ۹۹٫۹۰ مگاهرتز تا ۱۰۰٫۰۰ مگاهرتز دور خواهد زد. اگر فرکانس سیگنال در یک کیلوهرتز نگاهداشته شود ولی دامنه آن نصف شود، انحراف فرکانس نصف خواهد شد و سیکل تغییرات فرکانس ۱۰۰۰ دفعه در هر ثانیه روی یک ردیف ۹۹٫۷۵ مگاهرتز تا ۱۰۰٫۲۵ مگاهرتز تکرار می‌شود.

در نگارهٔ (۵) موج حامل (یا کاریر)، سیگنال سینوسی مدوله کننده، موج، دامنه، موج مدوله شدهٔ فاز و موج مدوله شدهٔ فرکانس، همه یکجا نشان داده شده است.

تبصره: مدولاسیون فرکانس را با علامت FM و مدولاسیون دامنه را با علامت AM نشان می‌دهند.

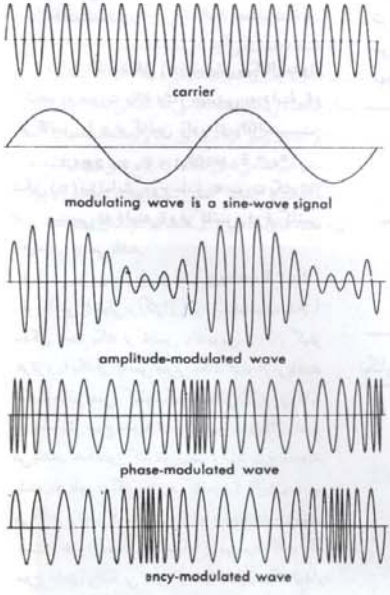
در پخش صدا AM و FM هر دو بکاربرده می‌شوند. در پخش تلویزیون تصویر با AM و صدا با FM پخش می‌شوند.

ه) مدولاسیون پالسی (یا ضربانی)

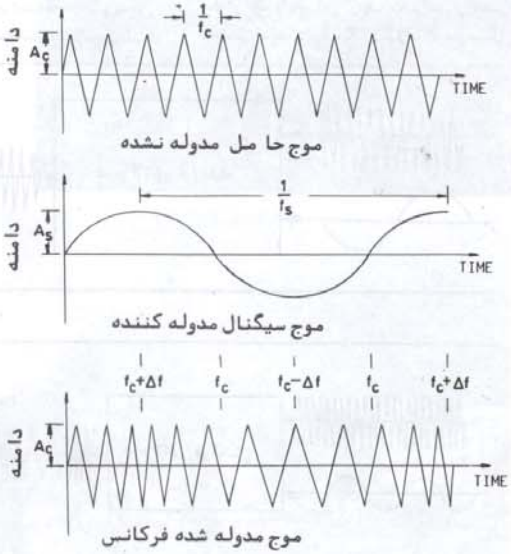
می‌توان به کمک یک سری از پالسها، نیز یک سیگنال صوتی را انتقال داد. این عمل را **مدولاسیون پالسی** می‌گویند. برای این منظور یکی از مشخصه های اساسی پالسها از قبیل دامنه، مدت، وضع، پالسها را برطبق مقادیر آنی سیگنال مدوله کننده (مثلا یک موج صوتی) تغییر می‌دهند. هر پالس محتوی مقداری انرژی است.

در نگارهٔ (۶) چند نوع از مدولاسیون پالسی نشان داده شده است.

شکل (a) یک موج سینوسی مدوله کننده
شکل (b) یک موج حامل پالسی
شکل (c) مدولاسیون دامنه‌ای پالسها
شکل (d) مدولاسیون وضع پالسها مشاهده می‌شود. در این شکل وضع یا محل پالسها به تناسب مقادیر آنی موج مدوله کننده تغییر کرده است.



نگاره (۵)



نگاره (۴)

شکل (e) مدولاسیون پهنا (یا مدت) پالسها

در اینجا پهنای پالسها برطبق سیگنال مدوله کننده تغییر داده شده است.

ممکن است همچنین فرکانس تکرارپالسها را برطبق مقادیر آنی سیگنال مدوله کننده تغییر داد که آن را **مدولاسیون فرکانسی پالسها می‌گویند.**

همچنین ممکن است محل یا جای پالسها بر طبق سیگنال مدوله کننده تغییر داده شود که آن‌را **مدولاسیون جای پالسها** می‌گویند.

۶) دمدولاسیون[6] یا آشکارسازی Detection

منظور از دمدولاسیون، یا آشکارسازی، عبارت است از سوا کردن سیگنال مدوله کننده از موج حامل مدوله شده. مثلا به نگارهٔ (۷) رجوع کنید.

دراینجا موج مدوله شده (یا سیگنال دار) وارد عضوی به نام آشکارساز[7] می‌شود و ازطرف دیگر این عضو سیگنال مدوله کننده به تنهایی خارج می‌شود؛ یعنی در واقع عکس عمل مدولاسیون رخ می‌دهد.

دتکتور را اغلب **دمدولاتور** می‌گویند. در نگارهٔ (۸) مدار اساسی یک دتکتور نشان داده شده است.

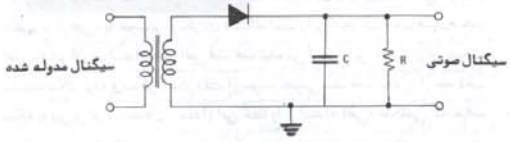
این مدار از دو عضو تشکیل شده است: یکی عضو یکسو کننده که با علامت مثلث سیاه و یک خط در انتهای آن نشان داده شده است و دیگر عضو صافی که از خازن C و مقاومت R تشکیل می‌یابد.

موج مدوله شده ابتدا از عضو یکسو کننده عبور می‌کند و نصف آن حذف می‌شود و بعد وارد عضو صاف کننده (R و C) می‌شود و از آنجا به‌صورت سیگنال مدوله کننده به‌تنهایی خارج می‌گردد. عمل ایندو عضو در نگاره (۹) مجسم شده است.

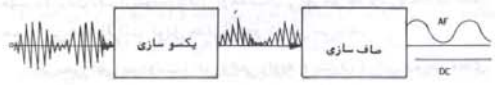
موج مدوله شده پس ار عبور از عضو یکسو کننده نصف آن حذف می‌شود و سپس از عضو صافی عبور می‌کند و از آنجا فقط پوش مدولاسیون (یعنی سیگنال مدوله کنندهٔ اولیه) خارج می‌شود.

1) Signal
2) Modulation
3) Demodulation
4) Carrier
5) Modulator
6) Detection
7) Detector

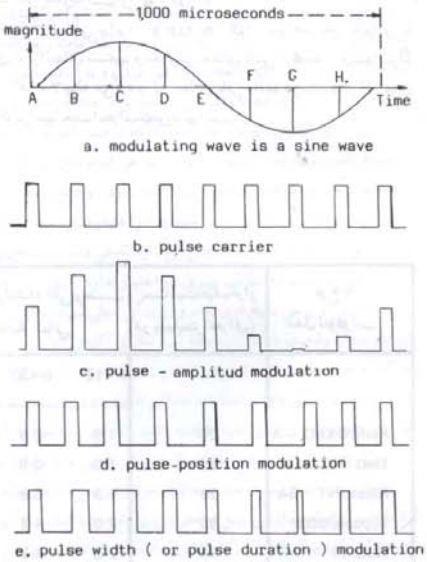
نگاره (۷)



نگاره (۸)



نگاره (۹)



نگاره (۶)