

Проектиране и изследване на диоден последователен амплитуден демодулатор

Боян Карапенов

Design and study of diode serial amplitude demodulator: This paper presents one of the methodologies for the design of diode amplitude demodulators as well as simulation results obtained from a designed serial circuit by means of which the operation principle has been illustrated and explained. Analogously, circuits of other types of modulators and demodulators can be designed and studied by simulation.

Key words: Diode Amplitude Demodulators, Design, Study, Results.

ВЪВЕДЕНИЕ

С непрекъснатото развитие и усъвършенстване на комуникационната техника се увеличава необходимостта от използването на различните видове модулатори и демодулатори – аналогови и цифрови.

Радиовръзката е една от най-широко разпространените и не може да бъде реализирана без радиопредавателно и радиоприемно устройство. Демодулаторът има важна и незаменима роля в нейното изграждане. Нагледен пример за това е блоковата схема на супер-хетеродинния радиоприемник.

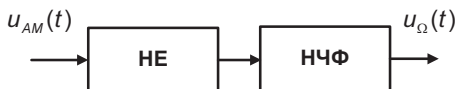
ИЗЛОЖЕНИЕ

Същност, основни качествени показатели и характеристики на амплитудните демодулатори

Амплитудната демодулация (детекция) е процес, при който високочестотният амплитудномодулиран сигнал се преобразува в нискочестотен, формата и честотата на който съответства на сигнала, модулирал носещото трептене в предавателната страна. Или още, процес на извличане на информация от амплитудномодулирания сигнал.

При хармоничен управляващ сигнал в спектъра на амплитудномодулирано трептене са съставките с честоти ω_0 , $\omega_0 - \Omega$ и $\omega_0 + \Omega$, а след демодулирането се получава сигнал с честота Ω .

Амплитудните демодулатори (АД) се изпълняват с нелинеен елемент (НЕ) като на входа му постъпва амплитудномодулирано трептене $u_{AM}(t)$, което се преобразува и чрез нискочестотен филтър (НЧФ) на изхода се получава модулиращия информационен сигнал $u_{\Omega}(t)$ - фиг. 1.



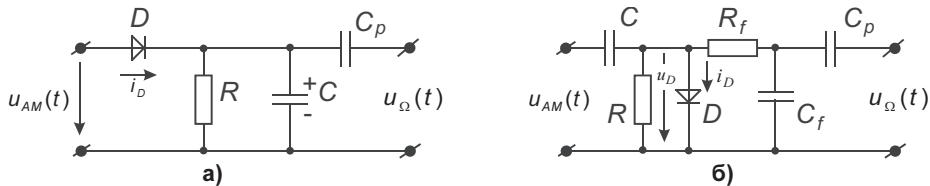
Фиг. 1 – Блокова схема на амплитуден демодулатор

Основните качествени показатели и характеристики на амплитудните демодулатори са: коефициентът на предаване по напрежение, определящ ефективността на демодулатора A_d ; коефициентът на филтрация, даващ оценка за остатъчното високочестотно напрежение (U_{wmo}) на изхода на филтъра K_f като неговите приемливи стойности са по-малки от 0,01; входният импеданс Z_i ; честотните изкривявания, които се определят от амплитудночестотната характеристика $U_{\Omega m}(f)$ при $m=C^{te}$, $U_{wm}=C^{te}$, $f_H=C^{te}$ и коефициентът на нелинейни изкривявания k .

Най-разпространеният амплитуден демодулатор е диодният, при който като

нелинеен елемент се използва полупроводников диод [1].

На фиг. 2 са представени последователна и паралелна схема на диоден амплитуден демодулятор.



Фиг. 2 – Последователна и паралелна схема на диоден амплитуден демодулятор

За правилна работа на демодулаторите – добра филтрация на високочестотното напрежение и отсъствие на инертност, е необходимо да се изпълняват условията [2]

$$\frac{1}{\omega_H C} \ll R, \frac{1}{\Omega_H C} \gg R \quad (1)$$

В зависимост от амплитудата на входния сигнал диодните амплитудни демодулатори работят в режим на квадратично или линейно демодулиране.

Проектиране на диодни амплитудни демодулатори с използване на характеристиката на изправителя

Необходимите изходни данни за проектирането на диодните амплитудни демодулатори са:

- Междинна (носеца) честота $f_0=465 \text{ kHz}$;
- Долна и горна честота на модулацията $f_B=0,3 \text{ kHz}$ и $f_H=3 \text{ kHz}$;
- Максимална дълбочина (индекс) на модулацията $m=0,8$ (ако стойността не е зададена се приема, че $m = 0,7 \div 0,9$);
- Входно съпротивление и капацитет на нискочестотния усилвател (НЧУ) - $R_{ВХНЧУ}=10 \text{ k}\Omega$, $C_{ВХНЧУ}=1 \text{ nF}$.
- Допустими честотни изкривявания за най-ниските и най-високите честоти на модулацията $M_B=1,2$ и $M_H=1,2$.

Необходимо е да бъдат определени: коефициентът на предаване на демодулатора по напрежение A_d , входното съпротивление на демодулатора $R_{ВХД}$ и параметрите на товара на демодулатора.

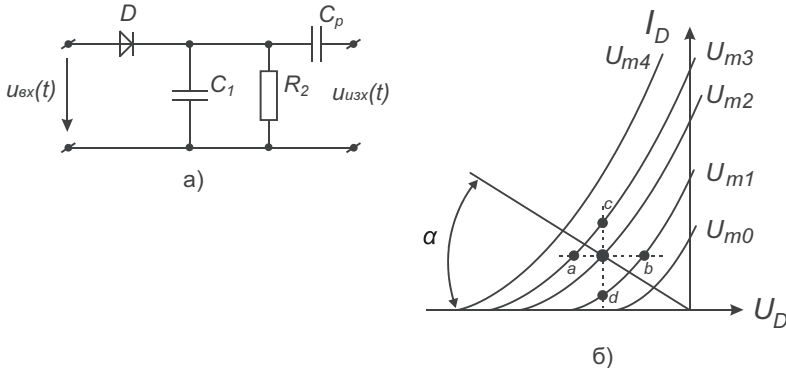
Последователността на проектирането на диодни амплитудни демодулатори с използване на характеристиките на изправяне включва [4]:

1) Избира се тип на диода така, че неговата гранична честота значително да превишава най-високата честота на демодулирания сигнал и неговото обратно съпротивление да бъде по възможност по-голямо. Тези условия напълно се удовлетворяват от почти всички съвременни полупроводникови диоди.

2) Минималната амплитуда на напрежението на носещата честота се избира в границите $U_{ВХД} = (0,2 \div 0,5) \text{ V}$ като се приема, че $U_{ВХД} = 0,5 \text{ V}$. Максималната амплитуда се ограничава от изискванията към системата за автоматично регулиране на усилването (АРУ).

3) Изхождайки от отсъствието на нелинейни изкривявания за определянето на различни съпротивления на товара по постоянен и променлив ток се изчислява стойността на R_2 по

$$R_2 = R_{ВХЧУВ} \cdot \frac{1-m}{m} = 10 \cdot 10^3 \cdot \frac{1-0,8}{0,8} = 2500 \Omega \quad (2)$$



Фиг. 3 – а) – Опростена схема на диоден амплитуден демодулятор; б) - Характеристики на изправяне на полупроводниковия диод

4) По характеристиките на изправяне по известни величини $U_{ВХД}$ и $R_{ВХ}$, се определя работната точка (фиг. 3,б)

$$U_{ВХД} = U_{m2}, \quad \alpha = \arctg \frac{1}{R_2}, [rad] = \arctg \frac{1}{2500}, [rad] \approx 4.10^{-4}. \quad (3)$$

С прекарване на прави, успоредни на координатните оси през работната точка, се определят точките на тяхното пресичане със съседните характеристики на изправяне и се изчисляват вътрешните параметри на демодулатора:

$$S_{Д} = \frac{c.d}{U_{m3}-U_{m1}}; \quad \mu_{Д} = \frac{a.b}{U_{m3}-U_{m1}}; \quad R_{ид} = \frac{\mu_{Д}}{S_{Д}}. \quad (4)$$

От характеристиките на диода $1N4009$ се определят: $S_{Д} \approx 10^{-2} \text{ mA/V}$, $\mu_{Д} \approx 1$ и $R_{ид} \approx 100 \Omega$.

5) Изчисляват се спомагателните величини:

$$R_{H\Omega} = \frac{R_2 \cdot R_{ВХЧУВ}}{R_2 + R_{ВХЧУВ}} = \frac{2500 \cdot 10 \cdot 10^3}{2500 + 10 \cdot 10^3} = 2 \text{ k}\Omega; \quad (5)$$

$$R_0 = \frac{R_{ид} \cdot R_{H\Omega}}{R_{ид} + R_{H\Omega}} = \frac{100 \cdot 2 \cdot 10^3}{100 + 2 \cdot 10^3} = 95 \Omega. \quad (6)$$

6) От условията за отсъствие на нелинейни изкривявания и допустими честотни изкривявания за високите честоти на модулацията се намира допустимата стойност на капацитета на кондензатора C_1 , шунтиращ товара на демодулатора - R_2 :

$$C_{1,доп} = \frac{\sqrt{1-m^2}}{2\pi \cdot f_B \cdot R_{H\Omega} \cdot m} - C_{ВХЧУВ} = \frac{\sqrt{1-0,8^2}}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,8} - 1 \cdot 10^{-9} = 19 \text{ nF}; \quad (7)$$

$$C'_{\text{доп}} = \frac{\sqrt{M_B^2 - 1}}{2\pi \cdot f_B \cdot R_0} - C_{\text{вхнчв}} = \frac{\sqrt{1,2^2 - 1}}{2\pi \cdot 3.10^3 \cdot 95} - 1.10^{-9} = 370 \text{ nF}. \quad (8)$$

Освен това трябва да се изпълнява и условието, осигуряващо незначителен пад на напрежение на сигнала на носещата честота върху товара на демодулатора

$C'_{\text{доп}} + C_{\text{вхнчв}} \geq 10 \cdot C_d$, или $(370+1) \text{ nF} \gg 10.4 \text{ pF}$,
където $C_d = 4 \text{ pF}$ е динамичния капацитет на диода 1N4009.

Избира се C_1 така, че неговата стойност да не превишава минималната от изчисленияте. Приема се, че $C_1 = 2 \text{ nF}$.

7) Коэффициентът на предаване на демодулатора по напрежение е

$$A_d = \mu_d \cdot \frac{R_{\text{нз}}}{R_{\text{вд}} + R_{\text{нз}}} = 1 \cdot \frac{2000}{100 + 2000} = 0,95. \quad (9)$$

8) Определяне на входното съпротивление на демодулатора

$$R_{\text{вхд}} = \frac{R_{\text{нз}} \cdot R_{\text{обп}}}{3 \cdot R_{\text{нз}} + 2 \cdot R_{\text{обп}}} = \frac{2000 \cdot 1.10^5}{3 \cdot 2000 + 2 \cdot 1.10^5} = 970 \Omega. \quad (10)$$

9) Напрежението с ниската честота на изхода на демодулатора е

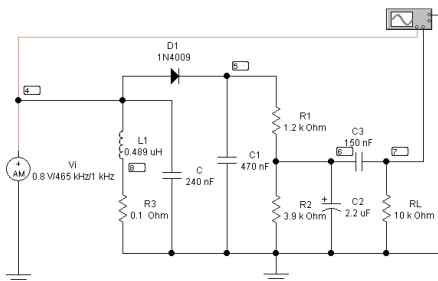
$$U_{\text{изхд}} = A_d \cdot m \cdot U_{\text{вхд}} = 0,95 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,38 \text{ V}.$$

10) Определя се капацитетът на разделителния кондензатор от зададените допустими честотни изкривявания в областта на ниските звукови честоти по

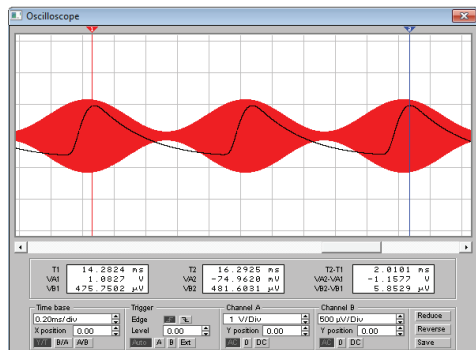
$$C_p \geq \frac{1}{2\pi \cdot f_H \cdot \sqrt{M_H^2 - 1} \cdot (R_2 + R_{\text{вхнчв}})} = \frac{1}{2\pi \cdot 3.10^3 \cdot \sqrt{1,2^2 - 1} \cdot (2500 + 1.10^4)} \approx 65 \text{ nF}. \quad (11)$$

Симуляционни изследвания на проектирана схема на диоден последователен амплитуден демодулатор

На фиг. 4 е показана схемата на свързване на опитната постановка за симуляционно изследване на проектирана схема на диоден последователен амплитуден демодулатор [3]. Приема се, че индексът на модулацията е $m = 0,8$.



Фиг. 4 – Схема за симуляционно изследване на диоден последователен амплитуден демодулатор



Фиг. 5 – Осцилограма на входния и изходния сигнал на диоден последователен амплитуден демодулатор

На фиг. 5 е показана осцилограмата на входния (представен с червен цвят) и изходния (представен с чер цвят) сигнал, получена при симулационното изследване на схемата на диодния последователен амплитуден демодулатор. Определят се:

- максималната стойност на входния сигнал $U_{inmax} = 1,08 \text{ V}$;
- максималната стойност на демодулирания сигнал $U_{odmax} = 481,6 \mu\text{V}$;
- минималната стойност на входния сигнал $U_{inmin} = -1,09 \text{ V}$;
- минималната стойност на демодулирания сигнал $U_{odmin} = -301,64 \mu\text{V}$.

В последователната схема на диодния амплитуден демодулатор, показана на фиг. 4, диодът D_1 1N4009 е запушен при входно напрежение, по-малко от неговото отпущащо. Когато напрежението върху диода достигне $0,6 \text{ V}$, той се отпуща. При намаляване на стойността на входното напрежение (под $1,08 \text{ V}$) и при спад под $0,6 \text{ V}$ диодът се запуща. От осцилограмата се вижда, че максималната стойност на демодулирания сигнал закъснява с около $47,4 \mu\text{s}$ спрямо тази на входния, а минимумът е изместен значително спрямо този на входния сигнал (около $360 \mu\text{s}$). Това се дължи на факта, че когато диодът е запушен, в рамките на един период кондензаторът C_2 се презарежда до все по-малка стойност на приложеното върху него напрежение.

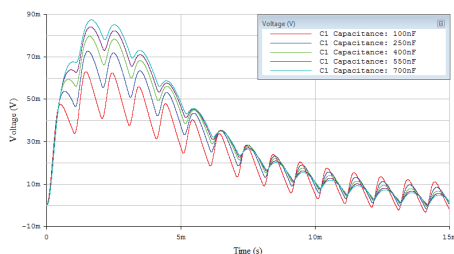
През положителната полувървна на амплитудномодулираното напрежение от протичащия ток през диода се зарежда кондензаторът в демодулаторната верига. Когато входното напрежение започне да намалява и стане равно на напрежението на кондензатора, резултантното напрежение между катода и анода на диода става равно на нула и ток във веригата престава да протича. Кондензаторът не може да се разрежи през диода, поради отрицателната полярност или еднаквостта на напрежението върху кондензатора и диода, и затова разрядният му ток протича през резистора R_2 . Той трябва да има относително голямо съпротивление, което не позволява за кратко време кондензаторът да се разрежи до нула, тъй като започва отново зареждането му с напрежението на следващия период. Минималните многократни пулсации на демодулирания сигнал в рамките на един период се дължат да разреждането и презареждането на кондензатора C_2 през C_1 , който има значително по-малка стойност на своя капацитет.

Извършването на *DC Operating Point* анализ е невъзможно поради това, че диодният амплитуден демодулатор е пасивна схема, при която липсва захранващ източник.

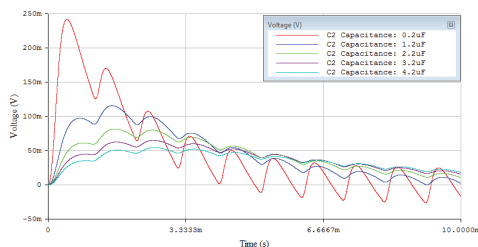
В резултат на извършените *Fourier Analysis* са получени стойностите на коефициента на общо хармонично разложение, който при $m=0,8$ е $82,2$, а при $m=0,6$ – $78,1$. При по-малка стойност на индекса на амплитудна модулация се получават по-малки стойности на амплитудите на отделните хармонични съставлящи на изходния демодулиран сигнал, а оттам и по-малка стойност на коефициента на нелинейни изкривявания k .

На фиг. 6 и фиг. 7 са представените получените симулационни резултати от извършените параметрични анализи (*Parameter Sweep Analysis*) с цел, установяване на влиянието на стойността съответно на кондензаторите C_1 и C_2 (а също така и на C_3) върху протичащите първоначални преходни процеси във веригата на последователния диоден амплитуден демодулатор.

Установява се, че увеличаването на стойността на кондензаторите C_1 и C_3 оказва едно и също влияние върху протичащия преходен процес като увеличава амплитудата на първоначалното разколебаване, тъй като те са свързани последователно в демодулаторната верига. Увеличаването на стойността на кондензатора C_2 , свързан паралелно, предизвиква получаването на по-малки пулсации при неговото многократно презареждане в рамките на един период, а също така и на ограничаване на размаха на първоначалния преходен процес.

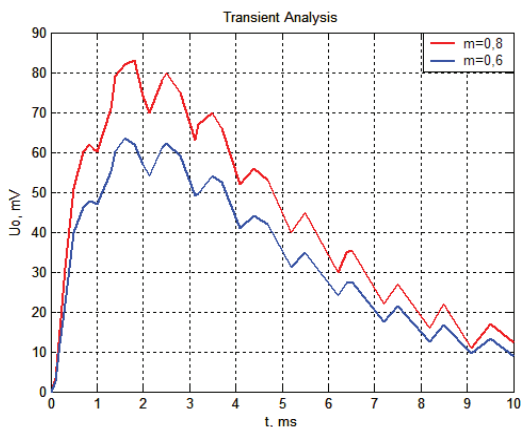


Фиг. 6 – Резултати от извършения пара-метричен анализ спрямо стойността на кондензатора C_1



Фиг. 7 – Резултати от извършения пара-метричен анализ спрямо стойността на кондензатора C_2

От представената на фиг. 8 сравнителна оценка на протичащите първоначални преходни процеси във веригата на диодния последователен амплитуден демодулатор при различните стойности на m (0,8 и 0,6) се установява, че формата на сигналите и в двата случая е една и съща с най-голяма разлика в амплитудите при втория максимум от презареждането на изходния паралелно свързан кондензатор (C_2) с високата честота на носещото трептене.



Фиг. 8 – Сравнителна оценка на протичащите преходни процеси при $m=0,8$ и $m=0,6$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящият доклад представя една от методиките за проектиране на диодни амплитудни демодулатори, а също така и симулационно получени резултати на проектирана последователна схема, с помощта на които е онагледен и пояснен принципът им на действие.

По аналогичен начин могат да бъдат проектирани и симулационно изследвани и схеми на други видове модулатори и демодулатори.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Младенова В., Н. Пенчев. Радиоприемни устройства, Издателство „Техника“, София, 2007 г.
- [2] Немигенчев И., Б. Карапенов. Комуникационни преобразователни устройства, Университетско издателство „Васил Априлов“, Габрово, 2007 г.

[3] Ненов Г., Наръчник по електронни схеми, том 6, Нелинейни радиоелектронни схеми, Издателство „Техника“, София, 1983 г.

[4] Афанасьев Г., Курсовое проектирование каскадов главного тракта приёма радиосигналов, Ульяновск, 2006 г.

За контакти:

доц. д-р Боян Карапенов, Катедра “Комуникационна техника и технологии”,
Технически университет - Габрово, тел.: 066/827-415, e-mail: bkarapenev@tugab.bg

Докладът е рецензиран.