

УПРАЖНЕНИЕ № 4.

Изследване на диодни ограничители

4.1 Цел на упражнението

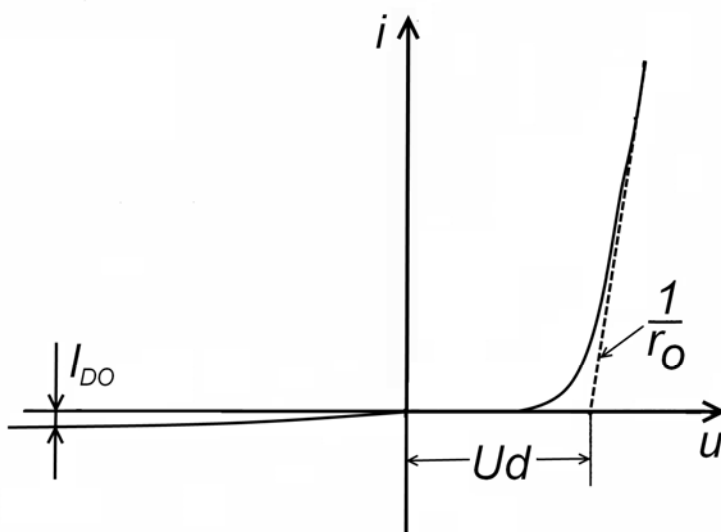
Да се запознаят студентите с принципите на работа и действието на основните схеми на пасивни диодни ограничители. Методите за снемане на преходните им и времевите им характеристики.

4.2 Описание (теоретична част)

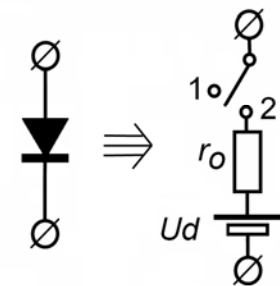
Волт-амперната характеристика на полупроводниковите диоди се описва аналитично с израза:

$$u = m\varphi_T \ln\left(\frac{i}{I_{DO}} + 1\right) + r_B i$$

в който I_{DO} е обратният ток на насищане (поради силната температурна зависимост наричан още топлинен ток), φ_T - топлинният потенциал, а r_B – обемното съпротивление на високоомния слой (базата).



фиг. 1 а)



б)

В повечето практически случаи токът през запушения диод може да се пренебрегне както поради неговата малка стойност, така и поради слабото му влияние в сравнително нискоомни вериги на ключовите схеми. Тогава идеализираната характеристика в областта на запушване се слива с абсцисната ос. В областта на отпушване с увеличаване на тока през диода характеристиката се линеализира. Това позволява лесна апроксимация с права, от която се определят двата параметъра - напрежение на отпушване U_d и вътрешно съпротивление r_0 . Съответната линейна еквивалентна схема е показана на фиг.1б. В нея положение 1 на ключа отговаря на запушен диод, а положение 2 на отпушен диод.

Формулата за напрежението върху диода показва, че диодите с по-малък топлинен ток, каквито са силициевите, имат по-голям напрежителен пад в отпушено състояние, съответно

характеристиките им в областта на отпушване е разположена по-вдясно. Напрежението на отпушване на тяхната апроксимирана характеристика е от порядъка на $0,7 \div 0,8V$. Аналогично се обяснява и фактът, че германиевите диоди поради големия топлинен ток се отличават с малък напрежителен пад в отпушено състояние. За тях напрежението U_d е от порядъка на $0,1V$ и обикновено може да се пренебрегне от практическа гледна точка. При това положение апроксимиращата права може да се построи през началото на координатната система, а еквивалентната схема във включено състояние да бъде само резистор.

Действието на диодните ограничители се базира на ключовите свойства на диода. Когато той е отпушен, съпротивлението му е много по-малко от съпротивлението на резистора R и цялото входно напрежение се оказва приложено върху R . Когато диодът е запушен, поради голямото му съпротивление входното напрежение е практически приложено само върху него. Видът на ограничението (отгоре или отдолу) зависи от посоката на свързване на диода, а нивото на ограничение - от опорното напрежение U_{ref} .

Ограничителите са схеми, чиито изходен сигнал престава да се изменя, когато входният сигнал стане по-голям или по-малък от определена стойност, наречена ниво или праг на ограничение. Предавателната характеристика на ограничителите е съставена от участъка:

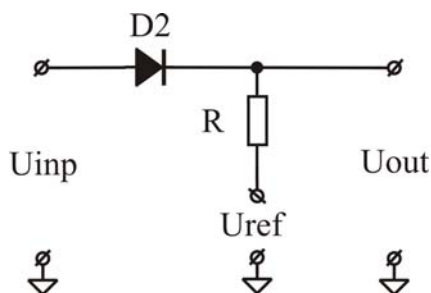
- пропускателен режим – наклонена пропорционална предавателна характеристика с зададен коефициент на предаване на входния сигнал.
- ограничителен режим - хоризонтален участък от предавателната характеристика и успореден на ограничителната стойност за схемата.

В зависимост от това къде в схемата се явява нелинейния ключов елемент, схемите на диодните ограничители биват:

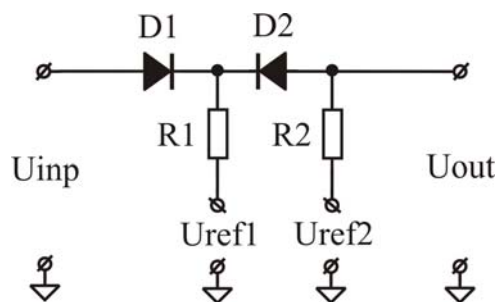
- последователни – в тях нелинейния ключов елемент осъществяващ превключването на схемата от пропускателен в ограничителен режим се явява включен последователно във веригата на разпространение на сигнала.

На фиг.2 е показана схемата на едностранен диоден ограничител. Диода D като комутиращ елемент и източника на опорно напрежение U_{ref} , определят едностранно нивото на ограничение и пропускане на входния сигнал U_{inp} . Пренебрегвайки вътрешните съпротивления на опорния източник на напрежение U_{ref} и вътрешното съпротивление на диода в отпушено състояние r_0 , то за предавателната характеристика може да се запише:

$$\begin{cases} U_{inp} > U_{ref} + U_d \Rightarrow U_{out} = U_{inp} - U_d \\ U_{inp} \leq U_{ref} + U_d \Rightarrow U_{out} = U_{ref} \end{cases}$$



Фиг.2 Едностранен последователен диоден ограничител

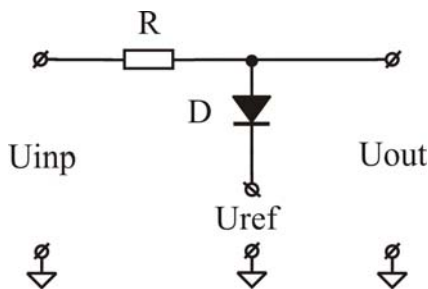


Фиг.3 Двустранен последователен диоден ограничител

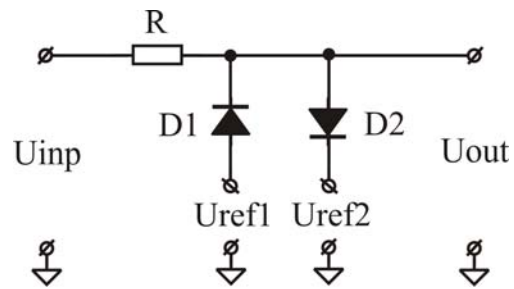
Схемата на фиг.3 представлява два последователно свързани два разнополярни диодни ограничителя. Частта от схемата D1, R1 и Uref1 е еквивалентна на тази от фиг.2, а D2, R2 и Uref2 е схемата на последователния ограничител ограничаващ сигнала от първата част на схемата. За предавателната характеристика по аналогия със схемата от фиг.2 при пренебрегване и на пада на напрежение на диода в отпушено състояние U_0 , може да се запише :

$$\begin{cases} U_{in} > U_{ref2} \Rightarrow U_{out} = U_{ref2} \\ U_{ref2} \leq U_{in} \leq U_{ref1} \Rightarrow U_{out} = U_{in} \\ U_{in} < U_{ref1} \Rightarrow U_{out} = U_{ref1} \end{cases}$$

- паралелни – в тях нелинейния ключов елемент осъществяващ превключването на схемата от пропускателен в ограничителен режим се явява включен паралелно на веригата на разпространение на сигнала. Схемите на едностранен и двустранен паралелен ограничител са показани съответно на фиг.4 и фиг.5.



Фиг.4 Едностранен паралелен диоден ограничител



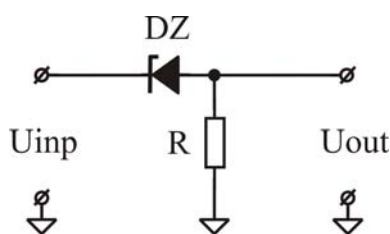
Фиг.5 Двустранен паралелен диоден ограничител

За схемата на фиг.4 предавателната характеристика се определя от системата от неравенства :

$$\begin{cases} U_{in} \leq U_d + U_{ref} \Rightarrow U_{out} = U_{in} \\ U_{in} > U_{ref} + U_d \Rightarrow U_{out} = U_{ref} + U_d \end{cases}$$

За схемата от фиг. 5 предавателната характеристика се образува от две противоположни горни системи :

$$\begin{cases} U_{in} < U_{ref1} - U_d \Rightarrow U_{out} = U_{ref1} - U_d \\ U_{ref1} - U_d \leq U_{in} \leq U_d + U_{ref2} \Rightarrow U_{out} = U_{in} \\ U_{in} > U_{ref2} + U_d \Rightarrow U_{out} = U_{ref2} + U_d \end{cases}$$



Фиг.6 Двустранен диоден ограничител с ценеров диод

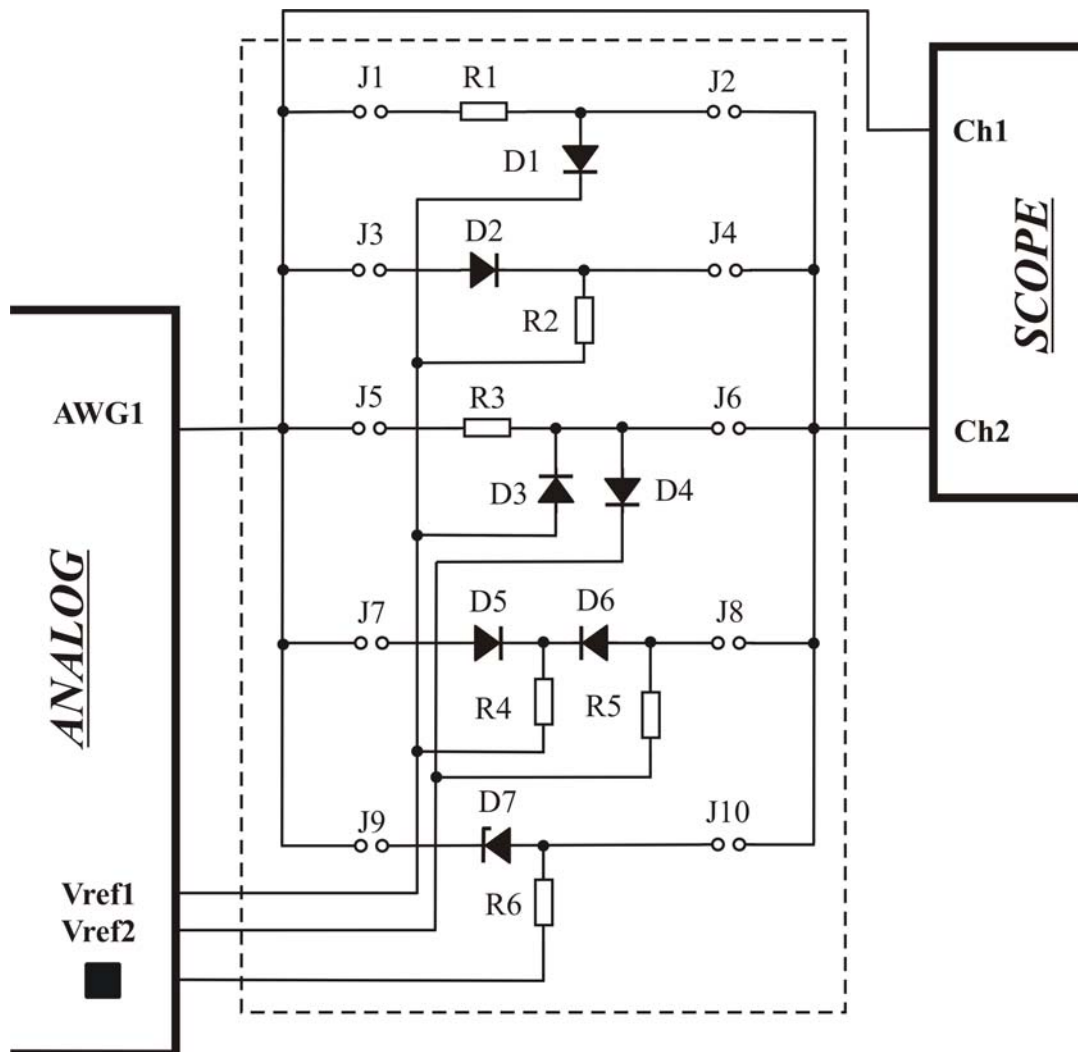
Напрежението върху отпушения диод в схемите на ограничителите е причина за появата на статична грешка спрямо идеалната предавателна характеристика. В зависимост от схемното решение предавателната характеристика се транслира по абсисна или ординатна ос с напрежителния пад на отпушения диод определен от праговото му напрежение на отпушване и пада на напрежение определен от вътрешното му съпротивление и протичащия през него ток. Пример за това е влиянието

на параметрите на ценеров диод в последователна ограничителна верига показана на фиг.6.

4.3 Описание на опитната постановка

Схемата на свързване на опитната постановка е показана на фиг.2. За задаване на стимулиращо напрежение се използва първи канал на генератора на сигнали AWG1 . Той който е свързан и към първи канал на цифровия осцилоскоп SCOPE1 за визуализация на входния сигнал. Стойностите за параметрите на сигнала се задават от менюто на програмната среда Digilent Waveforms (WaveGen от WaveForms1, секция Analog). Сигнала от генератора се подава към изследваната ограничителната верига, като избора на схема се осъществява посредством промяна местоположението на джъмперите в схемата.

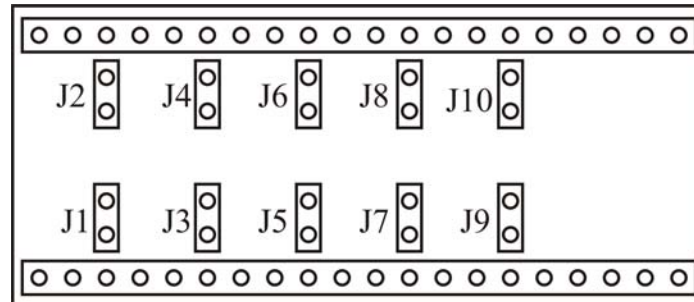
Изходния сигнал от изследваната ограничителната верига се подава на втория канал на цифровия осцилоскоп SCOPE2. Настройките за визуализация на входния и изходния сигнал се осъществяват от програмната среда Digilent Waveforms (Scope от WaveForms1, секция Analog)



Фиг.7 Опитна постановка

Праговите стойности на напреженията задаващи нивата на ограничения за изследваните схеми се задават от програмируемите източници Vref1 и Vref2 от програмната среда Digilent Waveforms

Разположението на джъмперите върху макетния модул посредством който се извършва комутация на изследваните схемни решения е показано на фиг. 3.



Фиг. 8 Разположение на джъмперите на макетния модул

4.4 Задание за изпълнение

1. Снете времедиаграмите на входния (U_{inp}) и изходния (U_{out}) сигнал в зависимост от опорното напрежение (U_{ref}) за паралелния диоден ограничител показан на фиг.4. Определете праговете на ограничение. Начертайте предавателните характеристики ($U_{out}=F(U_{inp})$) за положително, отрицателно и нулево опорно напрежение.

2. Снете времедиаграмите на входния (U_{inp}) и изходния (U_{out}) сигнал в зависимост от опорното напрежение (U_{ref}) за последователния диоден ограничител показан на фиг.5. Определете праговете на ограничение. Начертайте предавателните характеристики ($U_{out}=F(U_{inp})$) за положително, отрицателно и нулево опорно напрежение.

3. Снете времедиаграмите на входния (U_{inp}) и изходния (U_{out}) сигнал в зависимост от опорните напрежения (U_{ref1} и U_{ref2}) за двустранен паралелен диоден ограничител показан на фиг.6. Определете праговете на ограничение. Начертайте предавателните характеристики ($U_{out}=F(U_{inp})$) за положителни и отрицателни опорни напрежения, както и нулеви опорни напрежения.

4. Снете времедиаграмите на входния (U_{inp}) и изходния (U_{out}) сигнал в зависимост от опорните напрежения (U_{ref1} и U_{ref2}) за двустранен последователен диоден ограничител показан на фиг.7. Определете праговете на ограничение. Начертайте предавателните характеристики ($U_{out}=F(U_{inp})$) за положителни и отрицателни опорни напрежения, както и нулеви опорни напрежения.

5. Снете времедиаграмите на входния (U_{inp}) и изходния (U_{out}) сигнал за ценовия последователен ограничител показан на фиг.8. Определете праговете на ограничение. Начертайте предавателните характеристики ($U_{out}=F(U_{inp})$).

4.5 Указание за изпълнение на заданието

- Електронните схеми от фиг. 2 до фиг.6 се синтезират физически на лабораторния модул посредством макетен модул.
- Избора на изследвано схемно решение се осъществява посредством промяна конфигурацията на джъмперите от J1 до J10 на макетния модул.
- За всяка изследвана схема се подава входен синусоидален сигнал с честота 1kHz и амплитуда 5V от канал AWG1 на функционалния генератор.

- Задаването на спомагателните опорни напрежения $+U_{ref}$ и $-U_{ref}$ се осъществява от източниците на опорно напрежение V_{ref1} и V_{ref2} от състава на „Digilent Electronics Explorer Board“. Задаваните стойности на напреженията са 0, +2,5V и -2.5V.
- Процесите на ограничаване се наблюдават чрез вградения осцилоскоп, като към канал 1 (Ch1) се подава входния сигнал на схемата, а към канал 2 (Ch2) изходния сигнал от изследваната схема. Осцилоскопните канали 3 и 4 са изключени.
- За всяка от изследваните схеми се извършва запис на наблюдаваните входните и изходните сигнали като файлове в компютърната система.
- Въз основа на информацията от извършените записи се построяват предавателните характеристики $U_{out}=F(U_{inp})$ и времедиаграмите на входното и изходното напрежение на изследваните схеми в единна координатна система.
- Във времедиаграмите се отбелязват моментите в които схемите преминават от ограничителен в предавателен режим и обратното.

4.6 Контролни въпроси

1. Обяснете принципа на работа на паралелния диоден ограничител.
2. Обяснете принципа на работа на последователния диоден ограничител.
3. Обяснете принципа на работа на двустранния паралелен диоден ограничител.
4. Какво е влиянието на опорното напрежение в схемите на паралелен диоден ограничител.
5. Какво е влиянието на опорното напрежение в схемата на последователен диоден ограничител.
6. Какво е влиянието на опорното напрежение в схемата на паралелен диоден ограничител.
7. Какво е влиянието на опорните напрежения в схемата на двустранен паралелен диоден ограничител.

4.7 Литература

- [1]. Попов, А. Записки на лекции по импулсна схемотехника.
- [2]. Nonlinear Circuits Handbook, Analog Devices Inc., 1994
- [3]. <http://www.ittc.ku.edu/~jstiles/312/handouts/Diode%20Limiters.pdf>
- [4]. http://evalidate.freehostia.com/diode/Diode_Limiter/diodeLimiterTheory.html
- [5] М. Димитрова, Импулсни схеми и устройства в 2 тома, С., Техника, 1987г.
- [6] К. Конов, Импулсни схеми, С. Техника, 1984г.