

Изследване на RC - генератори в средата на Design Center

Автори: Проф. д-р. Иван Илиев Стоянов,
Доц. д-р. Елена Дикова Шойкова, инж. Ивайло Миланов Пандиев -
-ТУ - София, ФЕТТ, Катедра - „Електронна техника“

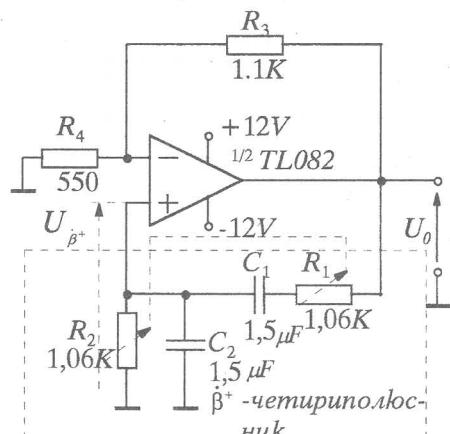
Abstract - The present paper discusses the **Design Center** analysis of a specific type of sine RC - oscillators with RC - components in the positive feedback. Generated amplitude stability is obtained by Automatic Gain Control System. Control is achieved through the control of the FET drain - source resistance, included in the negative feedback. Amplitude instability due to tolerance in circuit components and in the frequency response.

On that basis ways are presented for circuit design with a present amplitude of the signal generated and the total harmonic distortion.

Въведение

Съществуват редица класове аналогови схеми, чито анализ е или твърде високо теоретичен и естествено трудно приложим в практиката или прекалено опростен и не задоволява потребностите за оптимизация на проекта. Тогава разработчикът след продължителни експериментални процедури избира някакъв вариант, който в много случаи е далеч от оптималното решение.

В настоящия доклад се разкриват възможностите на системата за автоматично проектиране **Design Center** да избегне именно тези недостатъци на традиционната практика при проектиране и разработване на електронни изделия.



фиг. 1

I. Изследване на генератор на синусоидални сигнали с мост на Вин. Схема на генератора и теоритична постановка

Предметът на изследване е схемата показана на фиг.1. Включечните в нея елементи са оразмерени на базата на основни теоретични постановки. Избран е известният операционен усилвател **TL082**.

Честотата на генерираните колебания се изменя плавно с помощта на сдвоен потенциометър, чрез който синхронно се изменят съпротивленията R_1 и R_2 (но $R_1=R_2$).

Задача на изследването е да се установи какво е влиянието на до-

пуските на включените елементи върху изходната амплитуда и свързания с нея коефициент на нелинейни изкривявания.

За схемата от фиг.1 коефициентът на усилване при наличието на приложената положителна обратна връзка (β^+ -четириполюсника) е

$$(1) \quad \dot{A}_F^+ = \frac{\dot{A}_F^-}{1 - \beta^+ \dot{A}_F^-},$$

където β^+ е коефициента на предаване на четириполюсника съставен от елементите R_1, R_2, C_1 и C_2 ;

\dot{A}_F^- - коефициентът на усилване по напрежение на частта от схемата, в която е приложена отрицателната обратна връзка чрез резисторите R_3, R_4 .

За коефициентите \dot{A}_F^- и β^+ може да се напише

$$(2, a) \quad \dot{A}_F^- = \frac{1}{\beta^+} \frac{1}{1 + \frac{1}{\beta^- \dot{A}_F^-}},$$

$$(2, b) \quad \dot{A}_F^- \approx \frac{1}{\beta^-} = \frac{R_4 + R_3}{R_4},$$

$$(3) \quad \beta^+ = \frac{U_{\beta^+}}{U_o} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1} + j \left(\omega R_1 C_2 - \frac{1}{\omega R_2 C_1} \right)}.$$

Като се нулира знаменателя в (1) и имайки предвид (2, б) и (3) се получават амплитудното и фазово условия за самовъзбуждане

$$(4) \quad \beta^+ \cdot \dot{A}_F^- = 1,$$

$$(5, a) \quad \varphi_{A_F^-} + \varphi_{\beta^+} = 2k\pi, k = \pm 0, 1, 2, \dots$$

При работа на схемата в честотна област значително по-ниска от граничната честота на усилвателя обхванат с отрицателна обратна връзка е изпълнено условието

$$(5, b) \quad \varphi_{A_F^-} = 0, \text{ при което } \varphi_{\beta^+} = 0.$$

При изпълнение на горното условие може да се напише

$$(6) \quad \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}},$$

$$(7) \quad \beta_0^+ = \frac{U_{\beta^+}}{U_o} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}},$$

където ω_0 е генерираната честота; β_0^+ - коефициента на предаване при $\varphi_{\beta^+} = 0$. Тогава амплитудното условие за самовъзбуждане е:

$$(8) \quad A_F^- = \frac{R_3 + R_4}{R_4} = 1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}.$$

Схеми от този тип се реализират при избор на елементите, както следва: $R_1=R_2=R$ и $C_1=C_2=C$, при което: $\beta_0^+ = \frac{1}{3}$, $\omega_0 = \frac{1}{RC}$, $A_F=3$.

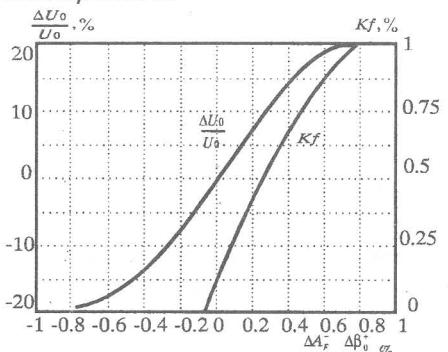
Амплитудното условие (4) се нарушава при изменения на β_0^+ и A_F^- от номиналните стойности. За тези изменения от (2, б) и (7) се намира

$$(9) \quad \frac{\Delta A_F^-}{A_F^-} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \left(\frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right);$$

$$(10) \quad \frac{\Delta \beta_0^+}{\beta_0^+} = \frac{1}{3} \left[\frac{\Delta R_2}{R_2} - \frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta C_1}{C_1} - \frac{\Delta C_2}{C_2} \right].$$

Pspice - анализ на схемата.

Провежда се с помоща на аналогия симулатор Pspice следния експеримент.



Фиг. 2

отпечатване. Изпълнението на анализа се извършва чрез аналогоцифровия симулатор **PSpice A/D**. След създаване на схемата се стартира **PSpice A/D** от избор на опцията **Analysis Simulate**. **PSpice A/D** чете файла със схемата създаден от **Schematics** и автоматично създава netlist. Дисплеят на **PSpice** дава стъпка по стъпка информация за симулационния процес.

Резултати:

Следсмоделирана визуализация на резултатите се осъществява с помоща на графичния осцилоскоп **Probe**. Графиката е дадена на фиг. 2.

От получените резултати могат да се оценят недостатъците на схемата. При 0,2% отклонения на β_0^+ или A_F изходната амплитуда се изменя с около $\pm 7\%$.

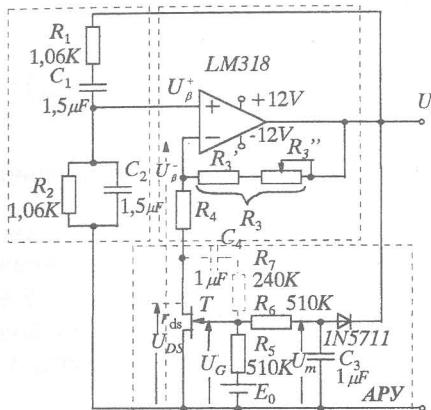
Поради тази причина, в практиката се използват схеми, в които е въведена допълнителна верига за автоматично регулиране на усиливането - АРУ.

II. Анализ на RC - генератор с АРУ.

Схема на генератора и теоритична постановка.

Схемата на RC-генератора, предмет на анализа е показана на фиг.

3. Тук във веригата на отрицателната обратна връзка е включен полеви транзистор (*T1S74*), чието съпротивление участъка дреин - сурс r_{DS} се управлява чрез постоянното напрежение на гейта U_G , получено от детекция на изходната амплитуда .



фиг. 1

Валидни са следните връзки:

$$(11) \quad U_G = \frac{E_0 R_6 - U_m R_5}{R_5 + R_6}, \text{ за } R_5 = R_6; U_G = 0,5(E_0 - U_m);$$

$$(12) \quad A_{F^-} = \frac{R_3 + R_4' + r_{ds}}{R_4 + r_{ds}};$$

$$(13) \quad R_4' = \frac{R_3 - r_{ds}(A_{F^-} - 1)}{A_{F^-} - 1},$$

за $A_{F^-} = 3; R_4' = 0,5(R_3 - 2r_{ds})$.

Pspice - анализ на схемата.

Теоритичният анализ на цялата система е сложен и трудно би намерил приложение за реално

проектиране на схемата. Тук с помоща на **SPICE** - анализ ще се изяснят процесите във веригата, тяхната взаимна свързаност и някои съображения при оразмеряването им.

В работния вариант на схемата, показан на фиг. 3 са приети: $R_5 = R_6 = 470\text{K}\Omega$; $E_0 = -2\text{V}$ и $R_3 = 1,1\text{K}\Omega$. Стойността на съпротивлението R_4' се счита за неизвестно.

Анализът и съответните разчети се провеждат в следната последователност.

1. Провежда се **SPICE** - анализ на амплитудната характеристика и свързания с нея клирфактор собствено на усилвателя при условие $A_{F^-} = 3$.

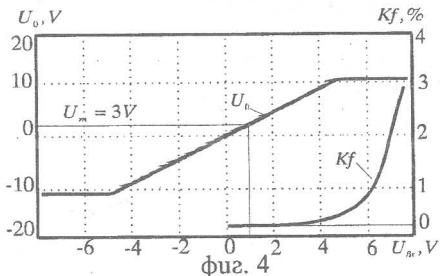
От получените резултати, показани с характеристиките на фиг. 4 може да се направи избор за амплитудата на генерираното синусоидално колебание и съответният клирфактор.

Избираме вариант $U_m = 3\text{V}$ и клирфактор $K_f = 0,08\%$.

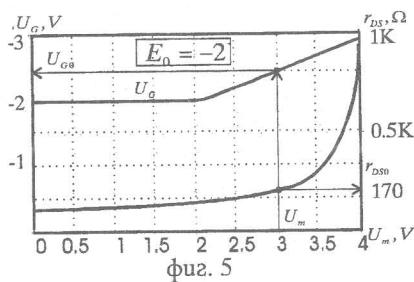
2. Изследват се със **SPICE** - системата характеристиките $U_G = f(U_m)$ и $r_{DS} = f(U_m)$. Резултатите са показани на фиг. 5.

За $U_m = 3\text{V}$ се отчитат $r_{DS0} = 170\Omega$ и $U_{G0} = -2,5\text{V}$. Отчетеният резултат

за E_0 съвпада с този получен чрез изчисления по формула (11).



фиг. 4



фиг. 5

3. Изчислява се стойността на R'_4 съгласно (13) $R'_4 = \frac{1}{2}(R_3 - 2r_{DS}) = 0,5(1,1K - 2 \cdot 0,170K) = 400\Omega$.

4. Анализира се нестабилността на изходната амплитуда по начин аналогичен на този приложен за схемата без АРУ (фиг. 1).

Резултатите за нестабилността отразени на фиг. 6 а и б показват очевидните предимства на схемата с АРУ. Така например при изменения на дестабилизиращите фактори ($\Delta A^-_F / A^-_F$ или $\Delta \beta_0^+ / \beta_0^+$) с $\pm 2\%$ изходната амплитуда не се променя повече от $0,6\%$. При схемата без АРУ изменения на същите фактори с повече от $0,6\%$ изкарват схемата от строя.

III. Анализ на схемата с АРУ в честотна област.

Проведените по-горе анализи на схемите с и без АРУ предполагаха, че усилвателната част не внася фазови извествания. Това е валидно в ограничена честотна област.

На фиг. 7 са дадени резултати от проведените анализи на схемата с АРУ (фиг. 3) относящи се до измененията на изходната амплитуда и на честотата (спрямо $\omega_0 = \frac{1}{RC}$). В случая малката гранична честота на

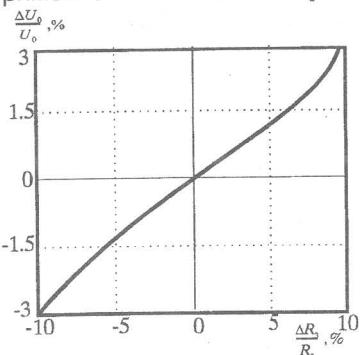
специфицирания усилвател *TL082* е причина амплитудата на генерираното напрежение да намалява чувствително още при $1KHz$, а при около $100KHz$ колебанията се сриват. Честотната грешка в тази област достига до около 6% .

Заключение

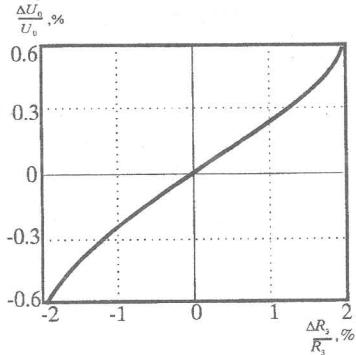
В заключение на изложените анализи на определен клас схеми на генератори на синусоидални сигнали могат да се направят следните изводи:

1. Ефективното използване на *Design Center* за анализ предполага предварителни познания относно теорията и практиката на изследваните схеми. Това е важна предпоставка за правилното планиране на

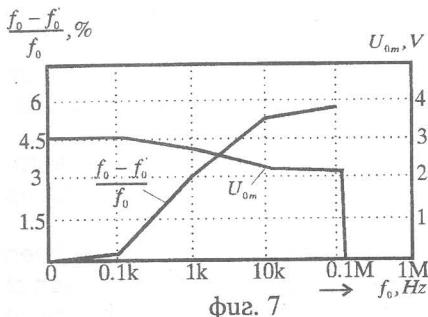
експеримента и анализ на получените резултати.



фиг. 6а



фиг. 6б



фиг. 7

фактори като ниво на сигнал и клирфактор, нестабилност на генерираната амплитуда от допуски на елементите и в честотна област и пр. Това в повечето случаи е избор на разработчика произхождащ от специфичните потребности на проектираната схема.

4. Получените резултати от проведените анализи в настоящата работа изясняват качествено и количествено процесите в системата генератор - АРУ. Те позволяват чрез неколократни процедури да се намери оптимален вариант на схемотехничното проектиране подчинен на предварително избрани изходни условия и критерии за оптимизация.

Използвана литература:

1. Бондаренко, В. RC - генераторы синусоидальных колебаний. М., 1976.
2. Стоянов, Ив. И. Измервания в электрониката и изчислителната техника. С, 1987.
3. Tuinenga, P. SPICE A Guide to Circuit Simulation & Analysis Using Pspice 1992.
4. MicroSim Cor. Pspice A/D. Circuit Analysis User's Guide with Schematics, Ver. 6.2, 1995.