

СИНТЕЗ НА МОДЕЛ ПАРАЛЕЛЕН ТРЕПТЯЩ КРЪГ RLC В SIMULINK

Резюме:

Синтезират се процесите от симулация на паралелен трептящ кръг съставен от резистор R , бобина L и кондензатор C . Анализират се три модела: с преобладаващ резистивен (R) характер, с преобладаващ резистивно индуктивен (RL) характер, с преобладаващ резистивно капацитивен (RC) характер. Изследва се схемата и се измерват ток, напрежение, импеданс и мощност при регулиране на индуктивността L и капацитета C в установен режим.

Анализират се резултатите от симулациите за трите варианта. След сравняване големините на активните мощности се синтезира ефекта от получената активна енергия.

Цел:

- Реализиране и синтезиране в Simulink от свързани в електрическа верига (ЕВ) модели пасивни елементи: резистор (R), бобина (L) и кондензатор (C), захранени от идеален синусоидален източник на напрежение.
- Стартиране на симулацията с подбрани за конкретния случай елементи на паралелния трептящ кръг RLC и отчитане данните за измерените параметри. Имитиране на три режимни състояния чрез настройки на параметрите и запис на реактивна и активна мощности.
- Анализират се енергийните характеристики и времодиаграмите при трите режима на моделиране.

Въведение:

Различават се два основни вида резонансни явления:

- резонанс на напреженията или резонанс от последователно свързани елементи RLC в неразклонена електрическа верига (ЕВ);
- резонанс на токовете или резонанс на паралелно свързани модели на пасивни елементи RLC в разклонена ЕВ.

При моделиране на **резонансен режим** в паралелна ЕВ еквивалентната ѝ пълна проводимост Y_e се състои само от активната съставка G_e . Тогава реципрочната величина на проводимостта Y_e – импеданса Z_e **приема максимална стойност**. Следователно тока е с минимална големина и съвпада по фаза с модела на източник на синусоидално напрежение.

Теоретична постановка. Резонанс на токовете в паралелна ЕВ:

1. Изчислителна част използвана в моделирането на резонансните режими

- Връзката между ъгловата честота ω и линейната f се определя чрез зависимостта:

$$\omega = 2\pi \cdot f, \text{ s}^{-1} \quad (1)$$

където f е честотата в Hz, като за нашата електрическа мрежа тя е 50 Hz

- Честотно условие за резонанс:

Когато собствената резонансна честота ω_0 на трептящ кръг съвпадне по стойност с ъгловата честота ω на входния синусоиден сигнал, фазовата разлика φ_e между тока и напрежението е нулева и настъпва резонанс.

Разликата между двете реактивни проводимости от (2) определя пълната проводимост B_e .

- Еквивалентната (пълна) проводимост на паралелен RLC трептящ кръг е:

$$\dot{Y}_e = G + j \cdot B_e = G + j \cdot (\omega_0 \cdot C - \frac{1}{\omega_0 \cdot L}) \quad (2)$$

Изравняването по големина на реактивните проводимости (индуктивна B_L и капацитивна B_C) се изпълнява условието за резонанс и еквивалентната реактивна проводимост $B_e = 0$. Тогава еквивалентната проводимост $\dot{Y}_e$ става чисто активна представено чрез комплексни величини:

$$\dot{Y}_e = G + j \cdot (B_L - B_C) = G \quad (3)$$

От (3) токът в трептящия кръг се определя само от активната проводимост G , като действието на B_L и B_C взаимно се компенсират. При резонанс пълната проводимост $\dot{Y}_e$ достига своята минимална стойност $\dot{Y}_e = G$, като ефективната стойност на тока става най-малка и е във фаза с напрежението:

$$I = U \cdot G = I_{min} \quad (4)$$

- Резонансна честота

Собствената резонансна честота ω_0 на паралелния трептящ кръг се изчислява и настройва в моделите, чрез регулиране стойностите на индуктивността L и капацитета C до достигане на резонанс по формулата:

$$\omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} \text{ или } \omega_0^2 \cdot L \cdot C = 1 \text{ или } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \quad (5)$$

- Вълново (на загубите) съпротивление в Ω ;

$$\rho = \sqrt{\frac{L}{C}} = \omega_0 \cdot L = \frac{1}{\omega_0 \cdot C} \quad (6)$$

- Вълновата проводимост на трептящия кръг:

$$\gamma = \sqrt{\frac{C}{L}}, \quad (7)$$

- Качествен фактор (Q - фактор) на RLC трептящия кръг:

$$Q = \frac{\sqrt{L}}{G} = \frac{\gamma}{G} \quad (8)$$

Изводи:

▪ Качественият фактор показва колко пъти ефективната стойност на тока, поотделно през всеки елемент е по-голяма от ефективната стойност на общия ток при

резонанс. От тук следва, че при $Q > 1$ във веригата се създават условия за усилване по ток.

- Първоначалното натрупване на електрическа и магнитна енергия се извършва при включване на веригата към синусоиден източник, като резистора R само покрива загубите в консервативните елементи. Съпротивлението симулиращо активните топлинни загуби в реална електрическа верига е свързано с Джауловия ефект.

- В идеалният вариант променливите съставки през индуктивния и капацитивен елемент са в противофаза, т.е. при максимална стойност на енергията в кондензатора енергията в бобината е със същата големина, но с обратен знак.

- Паралелно свързаните кондензатор C и бобина L непрекъснато обменят енергия помежду си и източника, но при резонанс фазовата разлика между тока и напрежението е $\varphi_e=0$. Поради това консумираната реактивна мощност е равна на нула и следователно енергията в трептящия кръг е чисто активна. Това създава условие за най-ефективна работа при устройствата работещи на резонансен принцип.

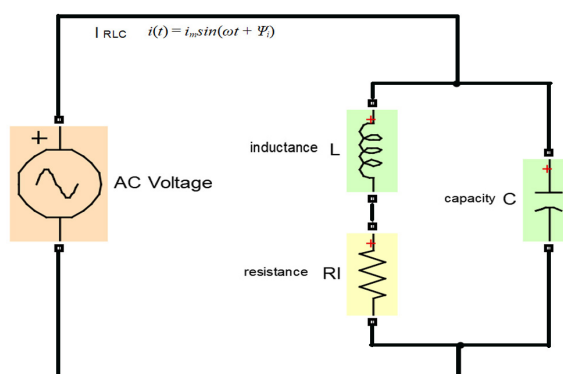
- Паралелният резонанс е популярен в съвременната радиотехническа апаратура с големина на $Q = 10 \div 500$.

2. Експериментална част.

Синтез на паралелен (токов) резонанс в програмна среда Simulink;

- **Модел на опитната постановка**

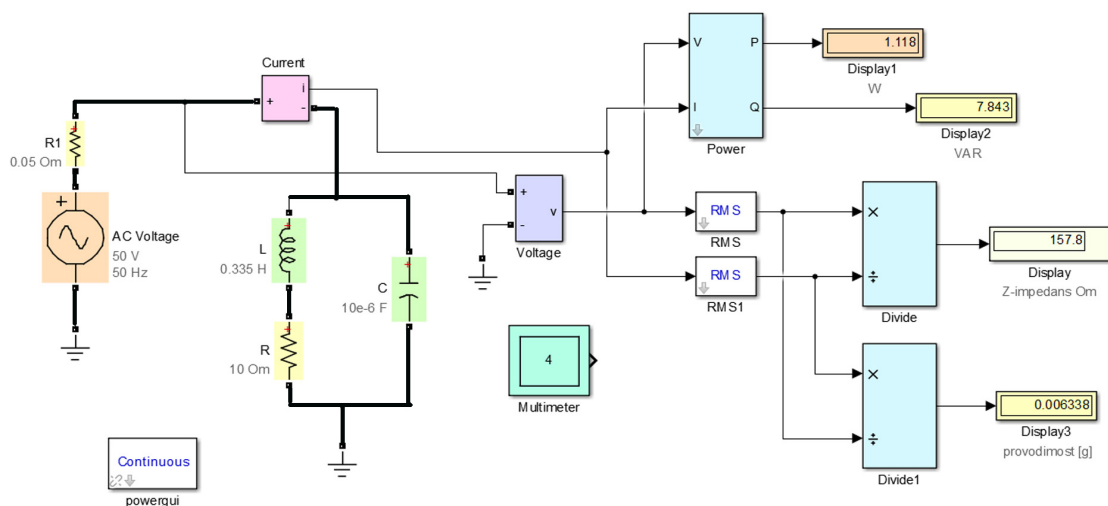
Синтезира се паралелен резонансен режим чрез три идеални пасивни двуполусника и модел на синусоиден източник свързани по мнемо схема от фиг.1.



Фиг.1. Мнемо схема синтезирана от идеален синусоиден източник и паралелен трептящ кръг R , L и C в програмна среда Simulink.

На мнемо схемата от фиг.1 са означени пиктограмите (оцветени различно) на източника с параметри: синусоидално напрежение U_{in} с амплитудата на $U_{max} = 50V$, ток I_{RLC} и линейна мрежова честота $f=50Hz$. Показани са и пиктограмите на пасивните елементи: кондензатора C , бобината L и нейното активно съпротивление R_L .

2.1. Модел на първи вариант на паралелен трептящ кръг с настройка за преобладаващ резистивно – индуктивен характер.



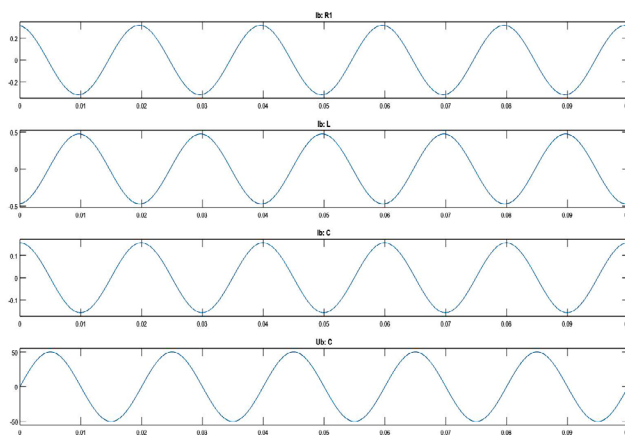
Фиг.2. Мнемо схема в програмна среда Simulink на паралелен трептящ кръг с настройка за преобладаващ резистивно – индуктивен характер.

Стартира се моделът от фиг.2 и се измерват ефективните стойности на активна мощност (W), реактивна мощност (VAR), импеданс (Ω) и проводимост (Simens). Показанията от симулацията се визуализират на Display1, Display2, Display3 и Display4.

В диалоговите прозорци на моделите на кондензатора и бобината са зададени конкретни стойности за този режим на работа на трептящия кръг. За кондензатора $C=10 \cdot 10^{-6}$ F, за бобината $L=0.335$ H и за резистора $R=10 \Omega$. След заместване със стойности в (5) за резонансната честота на трептящия кръг се получава:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{10^3}{\sqrt{0.335 \cdot 10}} = 546.358, s^{-1}; \quad (9)$$

Синтезираната кръгова честота е по-висока от генераторната като измерения импеданс на кръга Z е с големина **157.8 Ω** (Display от фиг.2). Реактивната мощност Q е с положителен знак и големина **7.843 VAR.**, което показва преобладаващо индуктивен характер на кръга.



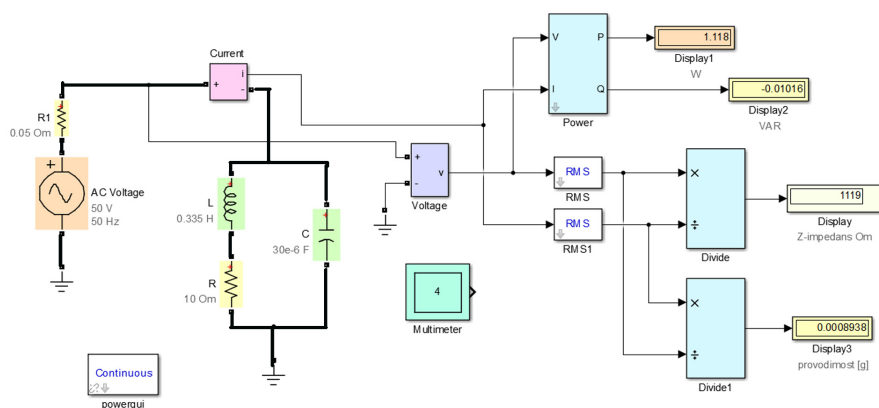
Фиг.3. Резултат от симулацията получени от блок Multimeter на фиг.2.

Времедиаграмите от фиг.3 се симулират от блок Multimeter зададен да измерва четири величини. Отчитат се моментните стойности на токовете в моделите на L и C, както и входното напрежение на паралелната ЕВ. Показателно е дефазизирането между I_L и I_C като в случаят на максимумите $I_L > I_C$.

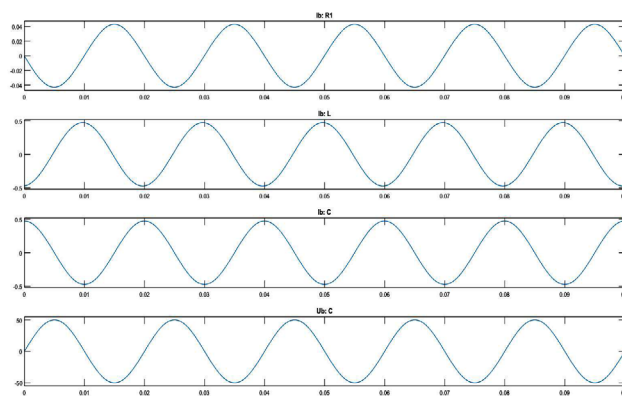
2.2. Модел на втори вариант трептящ кръг от паралелни RLC елементи с настройка за създаване на резонанс, синтезиран на фиг.4 с настройка за кондензатора $C=30 \cdot 10^{-6}$ F и за бобината $L=0.335$ H. След заместване в уравнение (5) получаваме собствената резонансна честота на кръга, съвпадаща с честотата на източника:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{10^3}{\sqrt{0,335 \cdot 30}} = 314,44 \text{ s}^{-1}; \quad (10)$$

Моделите на измервателните прибори показани на фиг.4 отчитат максимална стойност на импедансът на кръга $Z=1119\Omega$ и нулева за реактивната мощност Q.



Фиг.4. Мнемо схема на паралелен RLC трептящ кръг със зададени параметри да моделира резонанс.

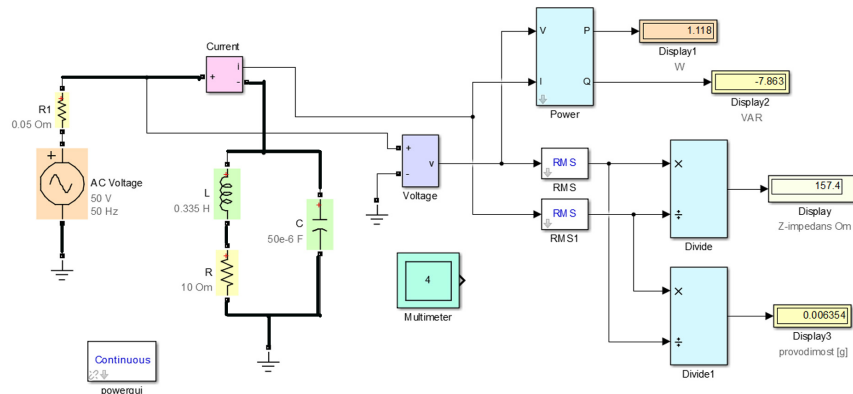


Фиг.5. Времедиаграми от симулацията получени с блок Multimeter при резонанс.

На диаграмите от фиг.5 се синтезират максимуми с еднаква големина и противоположни по знак токове в клоновете на бобината и кондензатора $I_L = I_C$. Това води до взаимното им компенсиране и нулиране на реактивната мощност.

Изводът е че моделирания импеданс на трептящия кръг **Z** е максимален и е чисто активен **R** отразяващ топлинните загуби в елементите.

2.3. Модел на трети вариант на паралелен трептящ кръг. Елементите са зададени с преобладаващо резистивно капацитивен характер.

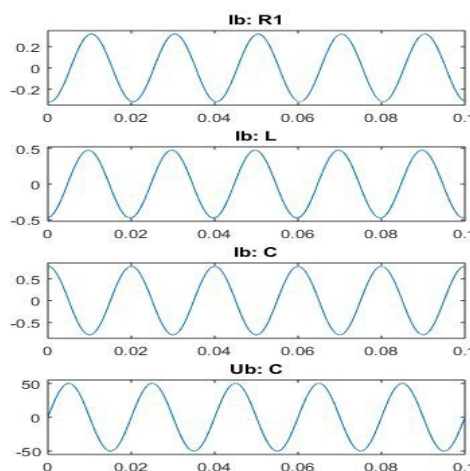


Фиг.6. Мнемо схема на паралелен RLC контур с преобладаващ резистивно капацитивен характер в програмна среда на Simulink.

Симулацията от фиг.6 се стартира и измервателните прибори визуализират ефективните стойности на активна мощност (W), реактивна мощност (VAR), импеданс (Ω) и проводимост (Simens). Преобладаваща е реактивната мощност с отрицателен знак, което е определя като капацитивна. Зададени са стойности за кондензатора $C=50 \cdot 10^{-6}$ F и за бобината $L=0.335$ H, което определя по (5) резонансна честота на трептящия кръг:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{10^3}{\sqrt{0.335 \cdot 50}} = 47.376 s^{-1} ; \quad (11)$$

Извод: Синтезирана е кръгова честота по-ниска от генерираната от източника определящ проводимост B_C като капацитивна реактивната мощност Q с отрицателен знак показана от Display2. Измереният импеданс на кръга е $Z=157.4 \Omega$.



Фиг.7. Времедиаграми с преобладаващ резистивно капацитивен характер

Синусоидите на двата тока през кондензатора и бобината се различават по фаза и по амплитуда. Определящо е по-високата максимална стойност на I_C спрямо I_L отчетено от времедиаграмите на фиг.7.

3. Таблични данни от резултатите при имитационните измервания и синтез

Табл. 1. резултати от измерванията и изчисленията

Type modeling	Q_{RLC} VAR	Z Ω	G S	ω_{RLC} s^{-1}	ω_0 s^{-1}
RL	7.84	157.8	0.006	546.4	314
R	0	1119	0.0009	314.4	314
RC	-7.86	157.4	0.007	47.4	314

Изводи:

- Чрез симулация на паралелен RLC трептящ кръг е доказан ефекта от съвпадането на собствената резонансна честота с тази на захранващия източник. Моделите доказват практическото приложение на формулите от теоретичната част и се изпълняват точно зададените показатели.

- Предимства от приложението на паралелен резонанс:

- При резонанс импедансът Z на трептящ кръг е 10 пъти по-голям в сравнения с двата варианта от табл.1 и е чисто активен.

- Получаване на усилване по ток или по напрежение в радиоприемната техника при проектирането на резонансни усилвателни стъпала.

- Използване на резонанс в честотно-селективни вериги – проектиране на лентови и заграждащи филтри в аудиотехниката и комуникационната техника.

- Използване на селективните свойства на честотно-селективните вериги за настройка на входни стъпала и антенни на приемни и предавателни устройства.

- Получаването на чисто активна енергия и предаването ѝ по електропреносните кабелни линии, подобрява фактора на мощността в електроенергийните системи. На практика се използват резонансни компенсатори, които могат да бъдат предварително синтезирани чрез симулация, която беше представена в статията и после реализирани на практика.

автор:

инж. Васил Борисов

e-mail: vasil_bi@buxtevy.eu