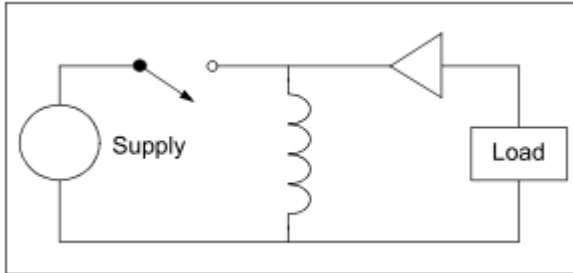
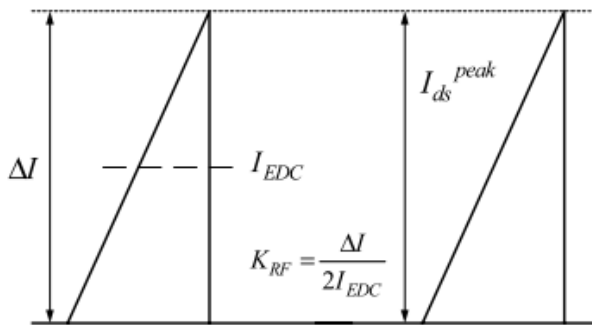


Matematické odvození závislosti šířky pulzu buzení měniče při rekuperaci do sinusového protinapětí, tak aby výstupní proud byl také sinusový a ve fázi s napětím.

Vyjdeme z energie která se akumuluje v magnetizační indukčnosti transformátoru během doby T_{High} sepnutí spínače .



Obrázek 1



Obrázek 2

$$\frac{dI}{dt} = \frac{2 * I_{edc}}{T_{High}}$$

$$U = L * \frac{dI}{dt} = L * \frac{2 * I_{edc}}{T_{High}} \Rightarrow I_{edc} = \frac{U * T_{High}}{2 * L}$$

Pro naakumulovanou energii platí :

$$E_p = U * I_{edc} * T_{High} = U * \frac{U * T_{High}}{2 * L} * T_{High} = \frac{(T_{High} * U)^2}{2 * L}$$

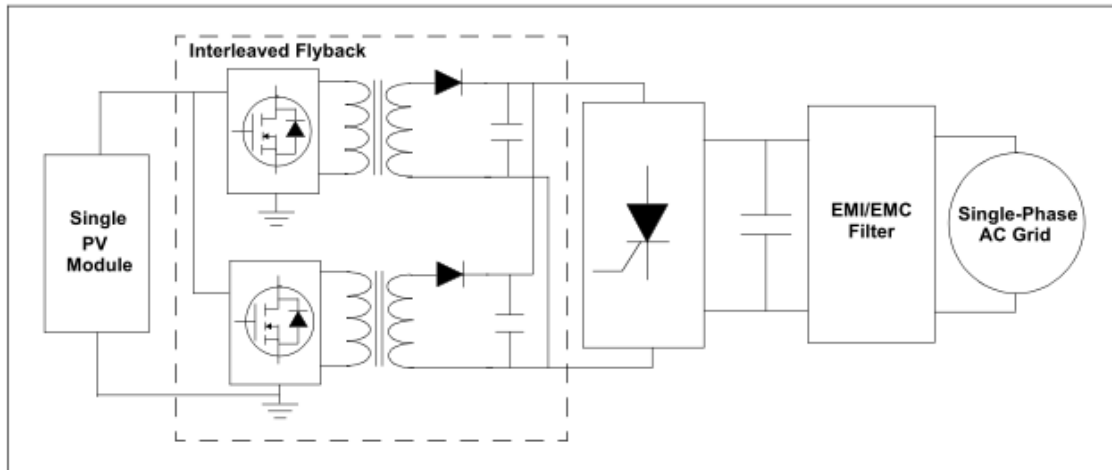
Po skončení pulzu se tato energie během intervalu ΔT rekuperuje do sítě. Tento děj se vzhledem ke konstrukci měniče se dvěma Flyback konvertory s prokládaným časováním (viz. Obrázek 3) probíhá s frekvencí rovnou polovině opakovacího kmitočtu měniče.

Pro střední primární výkon během intervalu ΔT platí:

$$P_{PAV} = \frac{(T_{High} * U)^2}{\Delta T * 2L}$$

Energii rekuperovanou za dobu ΔT do sítě v okamžiku T lze vyjádřit vstahem:

$$E_s = \int_T^{T+\Delta T} ((U_{SM} \sin \omega t + \omega L_S I_{SM} \cos \omega t) I_{SM} \sin \omega t) dt$$



Obrázek 3

Napětí $\omega L_s I_{SM} \cos \omega t$ je úbytek na vazební indukčnosti, který můžeme pro zjednodušení zanedbat. Potom můžeme psát:

$$E_s = \int_T^{T+\Delta T} ((U_{SM} \sin \omega t) I_{SM} \sin \omega t) dt = U_{SM} * I_{SM} \int_T^{T+\Delta T} (\sin^2 \omega t) dt$$

Integrál se dá vyjádřit:

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{ax - \sin(ax)\cos(ax)}{2a} + C$$

Explanation:

Use the trigonometric identity:

$$\sin^2(ax) = \frac{1 - \cos(2ax)}{2}$$

So:

$$\int \sin^2(ax) dx = \int \frac{1 - \cos(2ax)}{2} dx$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{1}{2} \int dx - \frac{1}{2} \int \cos(2ax) dx$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4a} \int \cos(2ax) d(2ax)$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{4a} \sin(2ax) + C$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{x}{2} - \frac{1}{2a} \sin(ax)\cos(ax) + C$$

$$\int \sin^2(ax) dx = \frac{ax - \sin(ax)\cos(ax)}{2a} + C$$

Můžeme tedy psát

$$E_s = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{2\omega} \left| \omega t - \sin \omega t \cos \omega t \right|_T^{T+\Delta T} = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{2\omega} \left| \omega t - \frac{\sin 2\omega t}{2} \right|_T^{T+\Delta T}$$

Po vyčíslení určitého integrálu:

$$E_s = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{2\omega} \left(\omega(T + \Delta T) - \frac{\sin 2\omega(T + \Delta T)}{2} \right) - \left(\omega(T) - \frac{\sin 2\omega T}{2} \right)$$

$$E_s = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{4\omega} (2\omega(T + \Delta T) - \sin 2\omega(T + \Delta T) - (2\omega T - \sin 2\omega T))$$

$$E_s = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{4\omega} (2\omega T + 2\omega \Delta T - \sin 2\omega(T + \Delta T) - 2\omega T + \sin 2\omega T)$$

$$E_s = U_{SM} * I_{SM} * \frac{1}{4\omega} (2\omega \Delta T - \sin 2\omega(T + \Delta T) + \sin 2\omega T)$$

$$E_s = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \left(\Delta T - \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \cos 2\omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right)$$

$$E_s = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \left(\Delta T + \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \left(-1 + 1 - \cos 2\omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right) \right)$$

$$E_s = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \left(\Delta T + \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \left(-1 + 2 \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right) \right)$$

$$E_s = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \left(\left(\Delta T - \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \right) + \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right)$$

$$E_s = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega} \left(\left(\frac{\omega \Delta T}{\sin \omega \Delta T} - 1 \right) + \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right)$$

Střední výkon v intervalu ΔT :

$$P_{AV} = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \frac{\sin \omega \Delta T}{\omega \Delta T} \left(\left(\frac{\omega \Delta T}{\sin \omega \Delta T} - 1 \right) + \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) \right)$$

Protože $\lim_{x \rightarrow 0} x/\sin(x) = 1$ a $\lim_{x \rightarrow 0} \sin(x)/x = 1$ můžeme pro dostatečně malé ΔT psát:

$$P_{AV} = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)$$

Musí platit:

$$P_{PAV} = P_{AV}$$

$$\frac{(T_{High} * U)^2}{\Delta T * 2L} = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)$$

A z toho:

$$T_{High}^2 = \frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \frac{\Delta T * 2L}{U^2} \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)$$

$$T_{High} = \sqrt{\frac{U_{SM} * I_{SM}}{2} \frac{\Delta T * 2L}{U^2} \sin^2 \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)}$$

Výstupní výkon měniče je:

$$P_{out} = U_{ef} * I_{ef} = \frac{I_{SM}}{\sqrt{2}} * \frac{U_{SM}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{SM} * U_{SM}}{2} = \eta * P_{in} = \eta * U * I$$

Kde η je účinnost měniče, U je vstupní napětí a I je vstupní proud.. Můžeme tedy psát:

$$T_{High} = \sqrt{\frac{P_{out}}{U^2}} \sqrt{\Delta T * 2L} \sin \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) = \sqrt{\frac{U * I}{U^2}} \sqrt{\eta * \Delta T * 2L} \sin \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)$$

$$T_{High} = \sqrt{\frac{I}{U}} \sqrt{\eta * \Delta T * 2L} \sin \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) = Konst \sqrt{\frac{I}{U}} \sin \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right) = Amplitude * \sin \omega \left(T + \frac{\Delta T}{2} \right)$$

Pro sinusový výstup proudu ve fázi s napětím při rekuperaci do sítě se sinusovým průběhem napětí je třeba modulovat šířku zapnutí spínače funkcí $\sin \omega(t)$.

Výraz I/U je konduktance zdroje a proto by bylo možno hodnotu $Amplitude = Konst \sqrt{\frac{I}{U}}$

využít pro MPPT metodou inkrementální konduktance:

3.2 Incremental conductance

This algorithm exploits the fact that the slope of the power-voltage curve of a PV array is equal to zero at the maximum power point. The slope is positive in the area to the left of the maximum power point and negative in the area to the right. Mathematically, this can be summarized as:

$$\begin{aligned} dP / dV &= 0, \text{ At MPP} \\ dP / dV &> 0, \text{ Left of MPP} \\ dP / dV &< 0, \text{ Right of MPP} \end{aligned} \quad (6)$$

This can be simplified using the following approximation:

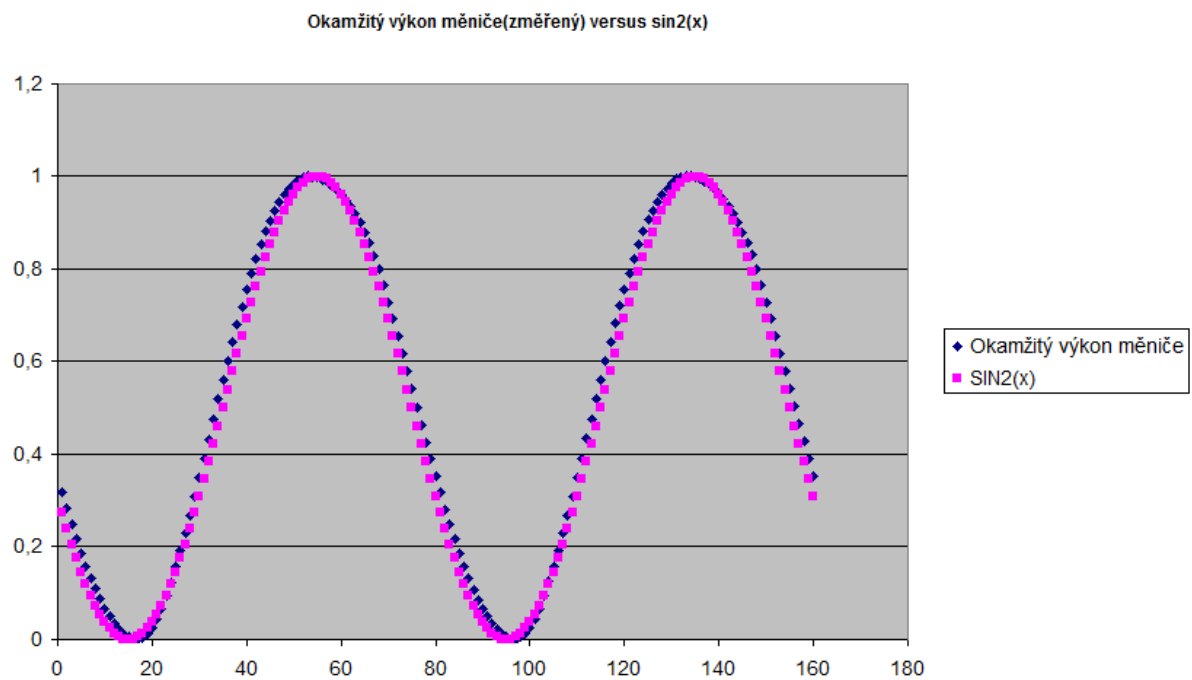
$$dP / dV = d(IV) = I + VdI / dV \approx I + V\Delta I / \Delta V \quad (7)$$

From that, (6) can be rewritten as:

$$\begin{aligned} \Delta I / \Delta V &= -I / V, \text{ at MMP} \\ \Delta I / \Delta V &> -I / V, \text{ left of MMP} \\ \Delta I / \Delta V &< -I / V, \text{ right of MMP} \end{aligned} \quad (8)$$

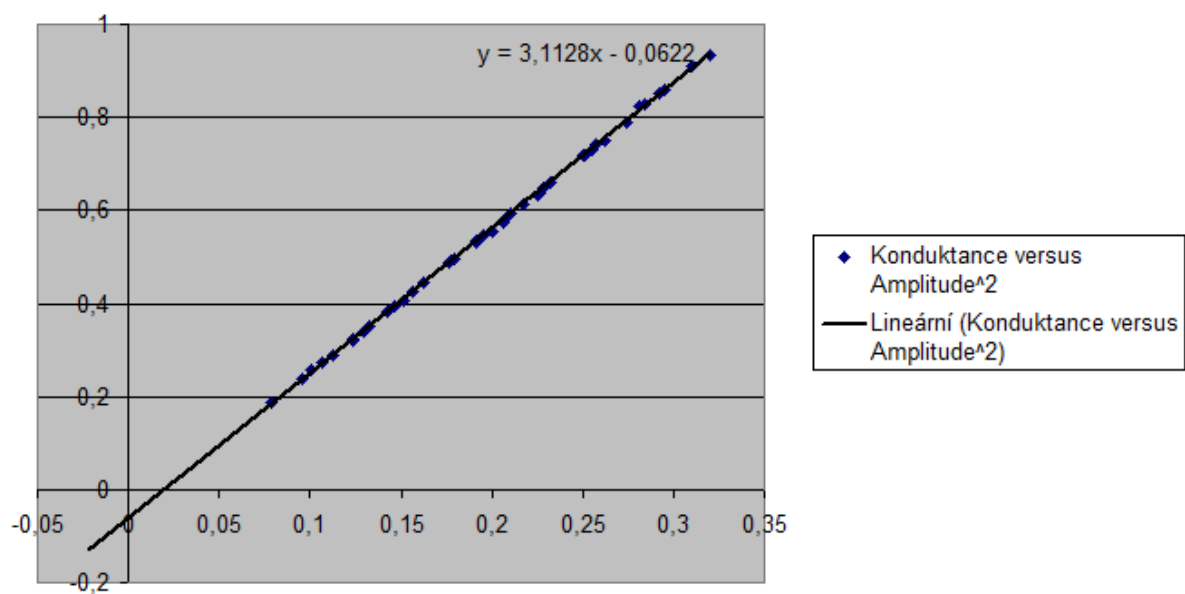
Ověření výsledků měření v reálném měniči.

Obrázek 4 znázorňuje časový průběh okamžitých hodnot výkonu vzorkovaných měničem, při modulaci šířky pulzu funkcí $\sin(x)$, ve srovnání s funkcí $\sin^2(x)$. Obrázek 5 znázorňuje závislost poměru vstupního proudu a vstupního napětí (konduktance zdroje), jako funkci mocniny proměnné „Amplitude“ (výstupní hodnota regulátoru výkonu v měniči). Výsledky se shodují s teoretickými předpoklady výše.



Obrázek 4

Konduktance zdroje versus "Amplituda" při regulaci měniče na požadovaný výkon



Obrázek 5