

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

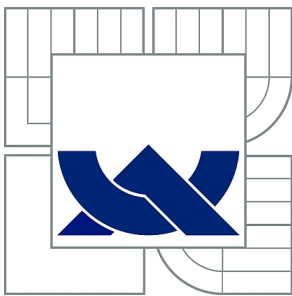
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NASTAVITELNÝ ČASOVÝ SPÍNAČ PRO TŘÍFÁZOVÝ
MOTOR

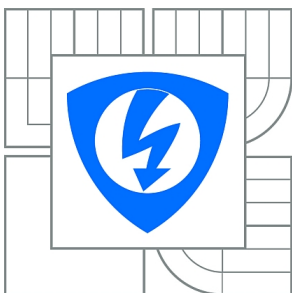
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ MOTYČKA



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**
ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

NASTAVITELNÝ ČASOVÝ SPÍNAČ PRO TŘÍFÁZOVÝ MOTOR

ADJUSTABLE TIMER FOR THREE-PHASE MOTOR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

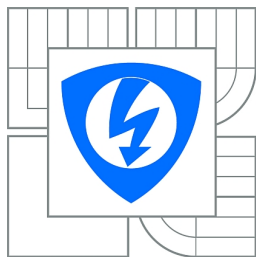
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

LUKÁŠ MOTYČKA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK HRUBOŠ

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií**

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student: Lukáš Motyčka

ID: 115239

Ročník: 3

Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Nastavitelný časový spínač pro třífázový motor

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte a seznamte se s vhodnými funkčními bloky pro realizaci časového spínače. Navrhněte koncepci s volitelnou dobou spínání pro třífázový motor. Jednotka bude obsahovat zobrazovač nastavovaných časů spínání a ovládací tlačítka. Dále bude obsahovat spínací část pro třífázovou soustavu a napájecí zdroj pro podpůrné obvody.

Realizujte navrženou jednotku, oživte ji a vypracujte výrobní dokumentaci včetně stručného manuálu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J. Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2009.

[2] KOLOUCH, J., BIOLKOVÁ, V. J. Impulzová a číslicová technika. Elektronické skriptum. Brno: FEKT VUT v Brně, 2003

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: Ing. Zdeněk Hruboš

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Práce popisuje několik možných řešení nastavitelného časového spínače, jako jsou monostabilní klopné obvody (MKO), asynchronní a synchronní čítače a mikrokontroléry. Dále se zabývá problematikou spínání třífázových asynchronních motorů s možností omezení velkého rozběhového proudu při jejich spouštění – přepínač hvězda-trojúhelník, softstartér, frekvenční měnič.

Zvláštní pozornost je přitom zaměřena na koncepční řešení časového spínače pomocí mikrokontroléru Atmel (řídícího prvku časového spínače), LCD (zobrazovací jednotky) a ovládacích mikropínačů. Mikrokontrolér bude doplněn o externí hodinový krystal s frekvencí 32,768 kHz, nutný pro funkci reálného času – Real Time Counter (RTC).

Důvodem volby je nejen jednoduchost a přehlednost ovládání pro obsluhu zařízení, ale také spolehlivost, nízká spotřeba a v poslední řadě i cena samotného zařízení.

KLÍČOVÁ SLOVA

Atmel, časovač/čítač, časový spínač, hvězda-trojúhelník, ISP, LCD, mikrokontrolér, MKO, přerušení, rozběhová křivka, RTC, softstart, SSR, třífázový motor.

ABSTRACT

The thesis describes several potential solutions of an adjustable timer, such as monostable multivibrators, asynchronous (ripple) and synchronous counters and microcontrollers. It also deals with issue of switching three-phase asynchronous motors with limit a high starting current on starting – star-delta switch, softstarter, frequency inverter.

Particular attention is focused on the conceptual design of the timer using microcontroller Atmel (timer control unit), LCD (display device) and control switches. The microcontroller will be complemented by external 32,768 kHz watch crystal, necessary for real-time function – Real Time Counter (RTC).

The cause for this choice is not only simplicity and clarity of control to the operator, but also reliability, low power consumption and also the price of the device itself.

KEYWORDS

Atmel, Timer/Counter, timer, star-delta, ISP, LCD, microcontroller, MKO, interrupt, starting curve, RTC, softstart, SSR, three-phase motor.

MOTYČKA, L. *Nastavitelný časový spínač pro třífázový motor*: bakalářská práce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 43 s. Vedoucí práce byl Ing. Zdeněk Hruboš.

PROHLÁŠENÍ

Jako autor bakalářské práce na téma „Nastavitelný časový spínač pro třífázový motor“ dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne
.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Ing. Zdeňku Hruboši za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne
.....
(podpis autora)

OBSAH

Úvod	9
1 Funkční bloky časových spínačů	10
1.1 Dvojbran RC	10
1.2 Klopné obvody	10
1.2.1 MKO s diskretními prvky	11
1.2.2 MKO s časovačem 555	11
1.3 Čítače	13
1.3.1 Asynchronní čítač	13
1.3.2 Synchronní čítač	13
1.4 Časový spínač s mikrokontrolérem	14
2 Třífázové asynchronní motory	15
2.1 Základní vlastnosti	15
2.1.1 Zapojení do hvězdy (Y)	16
2.1.2 Zapojení do trojúhelníku (Δ)	16
2.1.3 Rozběhová křivka	17
2.2 Elektromechanické a elektronické spínače	18
2.2.1 Stykač a relé	18
2.2.2 Polovodičový stykač a relé (SSR)	18
2.3 Možnosti spouštění	19
2.3.1 Přímé připojení k síti (DOL)	19
2.3.2 Přepínač hvězda-trojúhelník	19
2.3.3 Softstartér	19
2.3.4 Frekvenční měnič	19
3 Návrh časového spínače	20
3.1 Napájecí zdroj	20
3.2 Řídící obvod časového spínače	22
3.3 Spínací část pro třífázovou soustavu	27
4 Závěr	29
Literatura	30
Seznam symbolů, veličin a zkratk	32
Seznam příloh	34

A	Výrobní dokumentace zařízení	35
A.1	Celkové schéma zapojení	35
A.2	Pohled ze strany spojů (měřítko 1:1)	36
A.3	Rozmístění součástek na DPS (měřítko 1:1)	37
A.4	Seznam součástek	38
B	Návod na obsluhu zařízení	39
B.1	Obecný popis zařízení	39
B.2	Parametry a způsob zapojení	39
B.3	Výběr a naprogramování časového módu	41
B.3.1	Nastavení vlastního čas. módu	41

SEZNAM OBRÁZKŮ

1.1	Dvojbran RC.	10
1.2	Monostabilní klopný obvod s diskrétními prvky.	11
1.3	Monostabilní klopný obvod s časovačem 555.	12
1.4	Asynchronní 4-bitový binární čítač.	13
1.5	Synchronní 4-bitový binární čítač.	13
2.1	První model třífázového motoru (Nikola Tesla) [8].	15
2.2	Zapojení vinutí motoru do hvězdy [15].	16
2.3	Zapojení vinutí motoru do trojúhelníku [15].	16
2.4	Rozběhová křivka třífázového asynchronního motoru [4].	17
2.5	Třífázová softstart SSR [13].	18
2.6	Možnosti spouštění třífázových asynchronních motorů [4].	19
3.1	Blokové schéma napájecího zdroje.	20
3.2	Napájecí zdroj pro navrhovaný spínač.	21
3.3	Průběhy napětí napájecího zdroje při simulaci programem PSpice.	21
3.4	Různé typy pouzder mikrokontrolérů firmy Atmel [18].	22
3.5	Řídící obvod navrhovaného časového spínače.	23
3.6	Zjednodušené blokové schéma řídicího obvodu.	24
3.7	Zjednodušený vývojový diagram řídicího programu.	26
3.8	Spínací část pro třífázovou soustavu.	27
3.9	Průběhy napětí a proudu spínací části pro 3f soustavu.	28
B.1	Přední panel zařízení.	39
B.2	Důležité části řídicí jednotky.	40
B.3	Zapojení řídicí jednotky do ovládaného obvodu.	40
B.4	Nastavení časových intervalů.	42
B.5	Nastavení počtu opakování.	42
B.6	Možnost využití odloženého startu.	42
B.7	Možnost okamžité změny stavu.	43

SEZNAM TABULEK

1.1	Rozdělení klopných obvodů dle charakteru stavů.	10
3.1	Asynchronous Status Register (ASSR).	24
3.2	Timer/Counter Control Register 2 (TCCR2).	24
3.3	Nastavení bitů pro dělicí poměr předděličky.	25
3.4	Timer/Counter Interrupt Mask Register (TIMSK).	25
B.1	Povolené hodnoty nastavovaných parametrů.	42

ÚVOD

V běžném životě se s časovými spínači setkáváme téměř každý den. Ať už je to budík či upomínka v mobilním telefonu, nastavení doby ohřevu pokrmu v mikrovlnné troubě nebo jen zpožděné vypnutí osvětlení uvnitř vozidla. Zařízení využívajících nějakou formu časového spínače je tedy nepřeberné množství.

Úkolem práce je navrhnout vhodné koncepční řešení časového spínače s volitelnou dobou spínání pro třífázový motor. V úvodu je probráno několik možných řešení časového spínače. Ze všech popisovaných je vybráno to, které nejlépe vyhovuje požadavkům zadání práce.

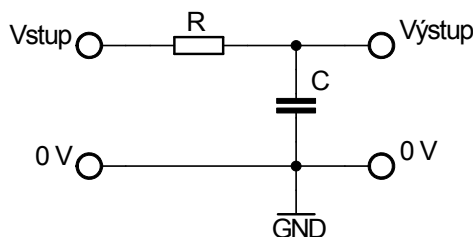
Následující kapitola se zabývá třífázovými asynchronními motory, jelikož jsou dnes nejčastěji používanými nejen v technickém průmyslu. První část se věnuje jejich základním vlastnostem, možnostem připojení do elektrické sítě a také zmiňuje rozběhovou křivku. Druhá část pak spínacím prvkům, vhodným pro spínání třífázové soustavy. Poslední část uvádí problematiku spouštění těchto motorů. V rámci této problematiky hovoří o způsobu přímého připojení k síti (motory do výkonu cca 4 kW), způsobech zmenšení statorového napětí (přepínač hvězda-trojúhelník a střídavý statický měnič tzv. softstartér) a dnes velmi používané možnosti řízení frekvenčním měničem.

Samotný návrh časového spínače zahrnuje kapitola 3. Celé zařízení je zde rozděleno na několik funkčních bloků, z nichž každý je popsán ve zvláštní podkapitole. Výrobní dokumentace navrženého spínače včetně návodu na jeho obsluhu je pak součástí příloh na konci práce.

1 FUNKČNÍ BLOKY ČASOVÝCH SPÍNAČŮ

1.1 Dvojbran RC

Integrační článek RC patří mezi základní pasivní články 1. řádu. Jsou-li na vstup takového obvodu přivedeny skokové změny napětí (pravoúhlý signál), potom jsou všechny jeho průběhy napětí a proudů exponenciální s časovou konstantou danou vztahem $\tau = R \cdot C$ [12].



Obr. 1.1: Dvojbran RC.

Představa použití článku v obvodu časového spínače je tedy zřejmá. Po přivedení kladné skokové změny napětí na vstup článku se na jeho výstupu napětí exponenciálně zvyšuje. Ze známých hodnot rezistoru R a kondenzátoru C lze určit časovou konstantu τ , pomocí níž lze určit dobu nabíjení kondenzátoru na stanovenou hodnotu napětí. Výstupní napětí článku pak lze jednoduše porovnávat s touto stanovenou hodnotou napětí a generovat tak časový impuls s požadovanou dobou trvání. Tohoto principu je využito např. u monostabilních klopných obvodů viz další podkapitola.

1.2 Klopné obvody

Klopné obvody (KO) jsou obecně obvody mající dva stabilní rovnovážné stavy. Podle charakteru těchto stavů je rozdělujeme na bistabilní, monostabilní a astabilní, jak je uvedeno v tab. 1.1.

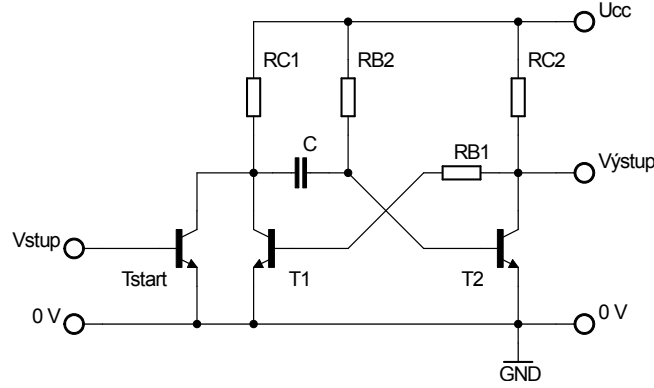
Tab. 1.1: Rozdělení klopných obvodů dle charakteru stavů.

Typ KO	Charakter stabilních rovnovážných stavů
Bistabilní (BKO)	2 trvale stabilní stavy.
Monostabilní (MKO)	1 stav trvale stabilní, 1 jen dočasně stabilní.
Astabilní (AKO)	2 dočasně stabilní stavy.

Pro účely zadání práce je vhodné se dále zabývat pouze monostabilními klopnými obvody, které lze realizovat pomocí diskrétních prvků (s tranzistory) nebo k tomuto účelu vyráběných integrovaných obvodů (např. časovač 555).

1.2.1 MKO s diskretními prvky

Monostabilní klopný obvod má, na rozdíl od obvodu bistabilního, jeden dočasně stabilní stav. Této skutečnosti je dosaženo zařazením článku RC do jedné smyčky kladné zpětné vazby – přenos pouze střídavé složky [12].



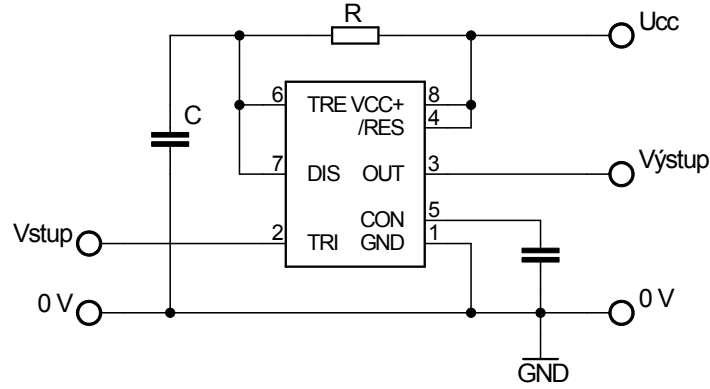
Obr. 1.2: Monostabilní klopný obvod s diskretními prvky.

Kladný impuls na vstupu obvodu jej uvede do dočasně stabilního stavu, po jehož dobu je na výstupu generován kladný napěťový impuls. Pro dobu trvání tohoto impulsu (tj. i dočasně stabilního stavu) je určující doba nabíjení kondenzátoru **C** z počáteční hodnoty $u_C = U_{BE2sat} - U_{CC}$ na hodnotu $u_C = U_{BE2sat}$, při níž se tranzistor **T2** otevře, **T1** uzavře a obvod se opět ocitne v trvale stabilním stavu [12]. Doba trvání impulsu na výstupu je dána:

$$\begin{aligned}
 U_{BE2sat} &= U_{CC} + (U_{BE2sat} - U_{CC} - U_{CC}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \\
 e^{-\frac{t}{\tau}} &= \frac{U_{BE2sat} - U_{CC}}{U_{BE2sat} - 2 \cdot U_{CC}} \\
 -\frac{t}{\tau} &= \ln \left(\frac{U_{BE2sat} - 2 \cdot U_{CC} + U_{CC}}{U_{BE2sat} - 2 \cdot U_{CC}} \right) \\
 -\frac{t}{\tau} &= \ln \left(1 + \frac{U_{CC}}{U_{BE2sat} - 2 \cdot U_{CC}} \right) \\
 t &\approx -\tau \cdot \ln 0,5 \\
 t &\approx R_{B2} \cdot C \cdot \ln 2.
 \end{aligned} \tag{1.1}$$

1.2.2 MKO s časovačem 555

S rozvojem integrovaných obvodů se začali pomocí nich tyto klopné obvody realizovat. Nejznámějším typem takového obvodu je tzv. časovač se symbolickým označením 555. Výhodami oproti MKO sestavenému z diskretních prvků je především nízká spotřeba a možnost integrace i více funkčních bloků do jediného pouzdra, jako např. dvojitý časovač s označením 556 [12].



Obr. 1.3: Monostabilní klopný obvod s časovačem 555.

Řídící napětí na vstupu obvodu musí být v klidovém stavu větší než $1/3 \cdot U_{CC}$. Při poklesu napětí pod tuto hodnotu se uzavře „vybíjecí“ tranzistor a obvod je uveden do dočasně stabilního stavu, při němž je na výstupu generován kladný napěťový impuls. Pro dobu trvání tohoto impulsu je určující, narozdíl od MKO s diskrétními prvky, doba nabíjení kondenzátoru **C** z počáteční hodnoty $u_C = 0 \text{ V}$ na hodnotu $u_C = 2/3 \cdot U_{CC}$. Poté se přes již otevřený vybíjecí tranzistor kondenzátor vybije, překloupí se výstupní KO a obvod se uvede zpět do trvale stabilního stavu [12]. Doba trvání impulsu na výstupu je tentokrát dána:

$$\begin{aligned}
 2/3 \cdot U_{CC} &= U_{CC} + (0 - U_{CC}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \\
 2/3 \cdot U_{CC} &= U_{CC} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \\
 e^{-\frac{t}{\tau}} &= \frac{U_{CC} - 2/3 \cdot U_{CC}}{U_{CC}} \\
 t &= -\tau \cdot \ln \frac{1}{3} \\
 t &= R \cdot C \cdot \ln 3.
 \end{aligned} \tag{1.2}$$

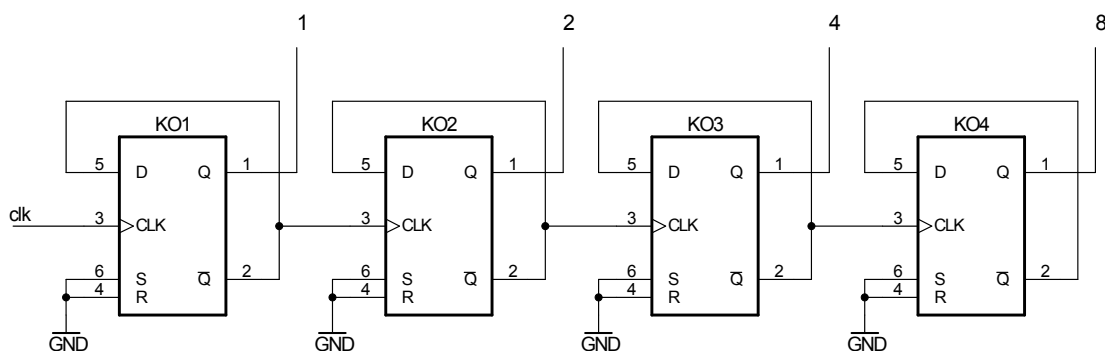
Z popsaných vlastností a z odvození doby trvání výstupního impulsu monostabilních klopných obvodů plyne závěr, že tyto obvody mohou sloužit pro odměřování času v jednoduchých aplikacích. Výstupní impuls, respektive nastavení doby jeho trvání, lze provést změnou hodnot patřičných obvodových součástek. Záměnou pevné hodnoty rezistoru či kondenzátoru za proměnný typ (potenciometr, kapacitní trimr, ...) tedy můžeme v daném rozsahu měnit délku výstupního impulsu – časového intervalu.

1.3 Čítače

Dalším řešením pro odměřování časových intervalů je využití asynchronních a synchronních čítačů.

1.3.1 Asynchronní čítač

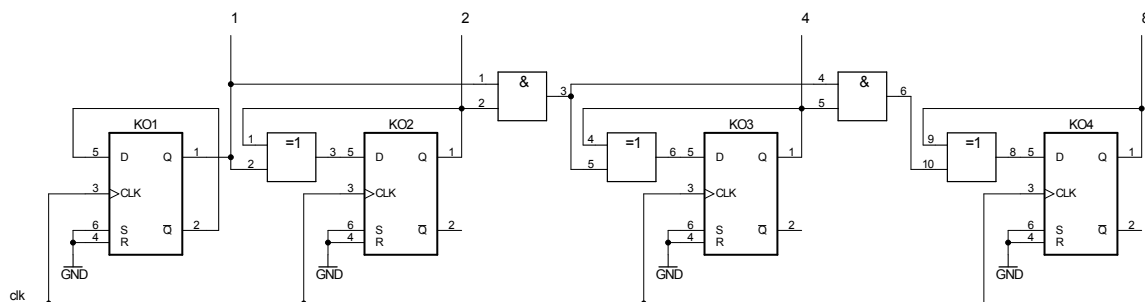
Nejjednodušší konstrukcí asynchronního čítače je postupné dělení kmitočtu dvěma, což lze realizovat klopnými obvody typu D viz obr. 1.4. Pro asynchronní čítač je charakterizující postupné ustalování výstupní hodnoty. Před zpracováním hodnoty na výstupu tedy musíme nejdříve vyčkat na její ustálení. Další nevýhodou je možnost výskytu hazardů u složitějších zapojení. Naproti tomu je nejvyšší možný vstupní kmitočet nezávislý na počtu stupňů (bitů) čítače, ale je dán pouze schopnostmi prvního stupně. Uvedený typ čítače je tedy nejrychlejší ze všech možných [12].



Obr. 1.4: Asynchronní 4-bitový binární čítač.

1.3.2 Synchronní čítač

Synchronní čítač je pro porovnání s asynchronním opět sestaven z KO typu D (obr. 1.5). Porovnáním obou zapojení je zřejmé, že zapojení synchronního čítače je v tomto případě složitější.



Obr. 1.5: Synchronní 4-bitový binární čítač.

Převažují však jeho výhody oproti čítači asynchronnímu [12]:

- výstup čítače se ustálí téměř okamžitě,
- hazardy nemají vliv na funkci (není potřeba ošetřovat),
- změny funkce jsou jednoduché,
- návrh je možné algoritmizovat.

Z vlastností obou typů čítačů plyne opět závěr, že tyto obvody mohou, stejně jako MKO, sloužit pro odměřování časových intervalů. Změnu nastavení délky časového intervalu lze dosáhnout změnou počtu stupňů (bitů) čítače b nebo také kmitočtem vstupního signálu. Vyhodnocení požadovaného časového intervalu se může provést např. porovnáváním aktuální binární hodnoty na výstupu stupňů s hodnotou vypočtenou vzhledem ke kmitočtu vstupního signálu nebo čekáním na přetečení – přechod $(2^b - 1) \rightarrow 0$.

1.4 Časový spínač s mikrokontrolérem

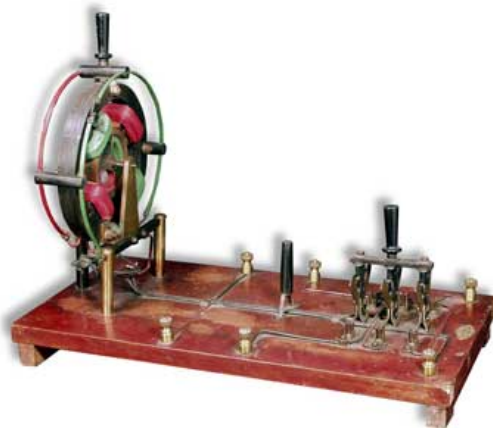
Všechny jmenované funkční bloky je možno jednoduše a efektivně realizovat pomocí mikrokontroléru. Čítače jsou navíc přímo součástí většiny mikrokontrolérů z rodiny AVR firmy Atmel. Další výhodou je jednoduchá vazba na zobrazovací modul LCD, ovládací tlačítka a spínací část pro třífázovou soustavu, což jsou hlavní požadavky zadání této práce.

Z těchto důvodů je pro návrh nastavitelného časového spínače zvolena právě tato varianta s mikrokontrolérem. Samotný návrh zařízení je podrobně popsán ve 3. kapitole nazvané „Návrh časového spínače“.

2 TŘÍFÁZOVÉ ASYNCHRONNÍ MOTORY

2.1 Základní vlastnosti

Třífázové asynchronní motory jsou dnes nejpoužívanějšími typy motorů na celém světě. Je to především díky jejich jednoduché a levné konstrukci [11].



Obr. 2.1: První model třífázového motoru (Nikola Tesla) [8].

Jsou tvořeny třemi fázovými vinutími, jež jsou navzájem posunuty o úhel $120^\circ/p$, kde p je počet pólových párů. Připojením motoru ke třífázové střídavé soustavě, kde je posun napětí jednotlivých fází 120° , dojde vlivem indukce ve vinutí rotoru k vytvoření točivého pole a točivého momentu. Synchronní otáčky točivého pole [11]

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{p}. \quad (2.1)$$

Za podmínky indukčního účinku nemůže rotor asynchronního motoru ani při volnoběhu dosáhnout synchronních otáček točivého pole. Rozdíl mezi synchronními otáčkami a otáčkami rotoru se označuje jako skluz [11]

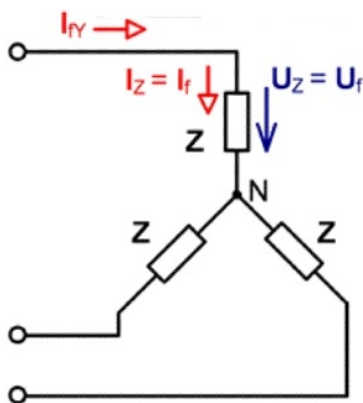
$$s = \frac{n_s - n}{n_s}. \quad (2.2)$$

Výsledné otáčky asynchronního motoru jsou tedy:

$$\begin{aligned} s \cdot n_s &= n_s - n \\ n &= n_s - n_s \cdot s \\ n &= n_s \cdot (1 - s) \\ n &= \frac{f \cdot 60}{p} \cdot (1 - s). \end{aligned} \quad (2.3)$$

Existují dvě základní možnosti připojení vinutí třífázových motorů do elektrické sítě, přičemž celá tato soustavu bude pro další poznatky považována za vyváženou a symetrickou [15].

2.1.1 Zapojení do hvězdy (Y)



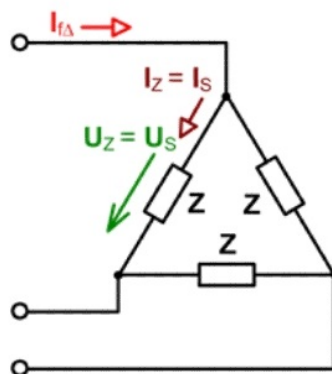
Obr. 2.2: Zapojení vinutí motoru do hvězdy [15].

V tomto zapojení jsou všechna vinutí napájena fázovým napětím U_f (v soustavě nn ČR $U_f = 230$ V) a protéká jimi fázový proud [15]:

$$U_Z = U_f, \quad (2.4)$$

$$I_{fY} = I_Z = \frac{U_Z}{Z} = \frac{U_f}{Z}. \quad (2.5)$$

2.1.2 Zapojení do trojúhelníku (Δ)



Obr. 2.3: Zapojení vinutí motoru do trojúhelníku [15].

Zde jsou vinutí napájena napětím mezi dvěma fázemi – sdruženým napětím U_S (v nn ČR $U_S = 400$ V) a teče jimi sdružený proud I_S [15]:

$$U_Z = U_S = \sqrt{3} \cdot U_f \cdot e^{j30^\circ}, \quad (2.6)$$

$$\begin{aligned} I_{f\Delta} &= \sqrt{3} \cdot I_Z \cdot e^{-j30^\circ} = \sqrt{3} \cdot \frac{U_Z}{Z} \cdot e^{-j30^\circ} = \\ &= \sqrt{3} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U_f \cdot e^{j30^\circ}}{Z} \cdot e^{-j30^\circ} = 3 \cdot \frac{U_f}{Z}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

Komplexní výkon motoru v zapojení do hvězdy [15]

$$S_Y = 3 \cdot U_f \cdot I_{fY}^* = 3 \cdot U_f \cdot \frac{U_f^*}{Z^*} = 3 \cdot \frac{U_f^2}{Z^*} \quad (2.8)$$

a v zapojení do trojúhelníku [15]

$$S_\Delta = 3 \cdot U_f \cdot I_{f\Delta}^* = 3 \cdot U_f \cdot 3 \cdot \frac{U_f^*}{Z^*} = 9 \cdot \frac{U_f^2}{Z^*}. \quad (2.9)$$

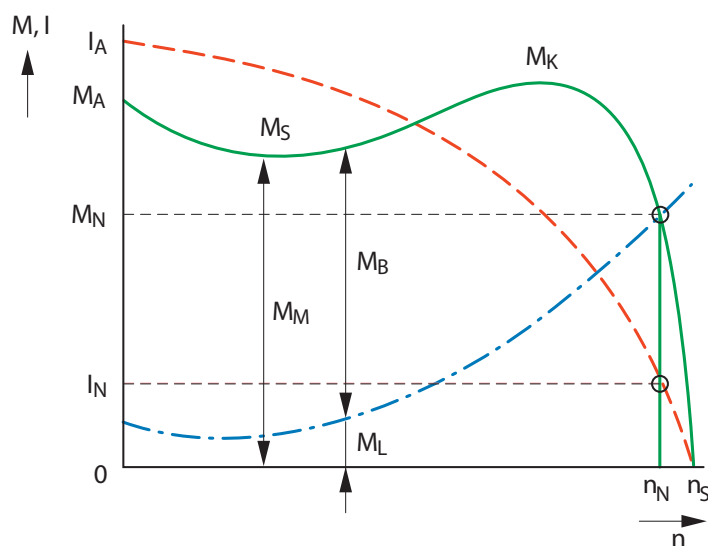
Z uvedených výsledků plyne závěr, že přepojením vinutí motoru z hvězdy do trojúhelníku se **ztrojnásobí** výkon motoru i proud fázových vodičů [15]:

$$S_\Delta = 3 \cdot S_Y \quad \text{a} \quad I_{f\Delta} = 3 \cdot I_{fY}. \quad (2.10)$$

Této skutečnosti se využívá při spouštění motorů s velkými výkony přepínačem hvězda-trojúhelník viz podkapitola „Možnosti spouštění“.

2.1.3 Rozběhová křivka

Rozběhová křivka je důležitou charakteristikou třífázových motorů. Můžeme z ní zjistit rozběhový proud I_A a moment M_A při spouštění motoru. Dále také jmenovitý proud I_N a moment M_N při jmenovitých otáčkách motoru n_N . Doplnujícími údaji jsou pak sedlový moment M_S a moment zvratu M_K [4].



Obr. 2.4: Rozběhová křivka třífázového asynchronního motoru [4].

2.2 Elektromechanické a elektronické spínače

2.2.1 Stykač a relé

Stykač a relé jsou jedny z nejpoužívanějších zástupců elektromechanických spínačů. Jak už sám název napovídá, jedná se o spínání pomocí mechanických kontaktů, jež jsou ovládány magnetickým obvodem. Rozdíl mezi pojmem stykač a relé se dnes již stírá a jedná se spíše o marketingové názvy. Např. mnoho instalačních stykačů jsou spíše výkonová relé. Ministykače, polovodičové stykače a relé je také problém zařadit do správné skupiny, ... [10].

Výhody jsou větší počet ovládaných kontaktů (silové + pomocné), malý úbytek napětí v sepnutém stavu (záleží však na stavu kontaktů – přechodovém odporu), široká nabídka různých druhů a především příznivá cena [7].

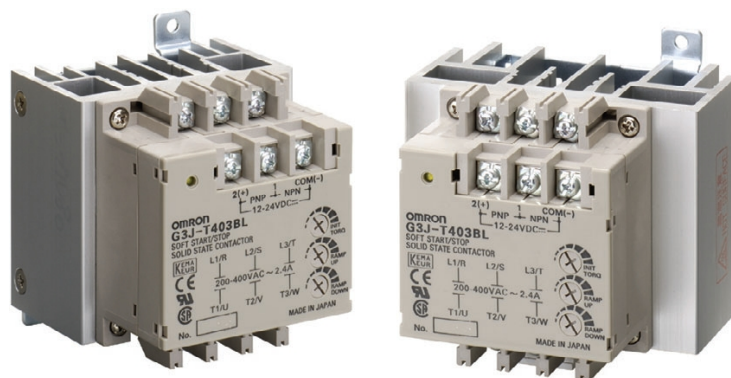
Nevýhody jsou možné zhoršení vlastností vlivem okolního prostředí, omezená frekvence spínání kontaktů a také vznik obloukového výboje při velkých zatěžovacích proudech, což vede ke snížení životnosti [7].

2.2.2 Polovodičový stykač a relé (SSR)

Solid State Relay (SSR) vychází ze svých elektromechanických předchůdců. Spínání zde zabezpečují polovodičové součástky (tyristory, triaky) – jedná se tedy o bezkontaktní metodu spínání. Řídící obvody jsou galvanicky, nejčastěji optoelektronickými prvky, odděleny od těchto spínacích prvků, tedy i od samotného spínaného obvodu. Nejuzívanějším typem je SSR se spínáním v nule, kdy způsobuje nejmenší rušení okolních přístrojů. Není tedy zapotřebí odrušovacích členů [17].

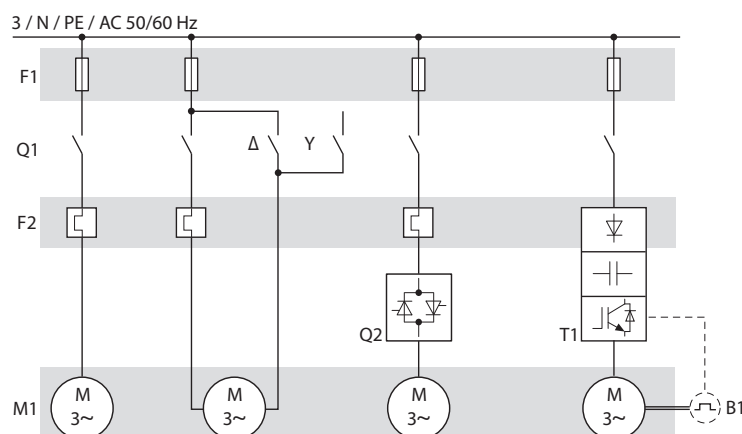
Výhody jsou delší životnost díky bezkontaktnímu systému spínání, rychlá odezva a odolnost vůči vlivům prostředí a nežádoucímu sepnutí při vibracích nebo mechanických otřesech [7].

Nevýhody jsou poněkud vyšší cena než v případě výše zmíněných elektromechanických prvků a větší úbytek napětí v sepnutém stavu, což vede při velkých zatěžovacích proudech k nepříjemné nutnosti chlazení viz obr. 2.5 [7].



Obr. 2.5: Třífázová softstart SSR [13].

2.3 Možnosti spouštění



Obr. 2.6: Možnosti spouštění třífázových asynchronních motorů [4].

2.3.1 Přímé připojení k síti (DOL)

Direct-on-line (DOL) lze použít pouze u motorů do výkonu cca 4 kW z důvodu velkého rozběhového proudu – asi 5–8 násobek jmenovitého proudu motoru [14].

2.3.2 Přepínač hvězda-trojúhelník

Přepínač hvězda-trojúhelník (angl. star-delta) je jedním ze způsobů zmenšení statorového napětí. Využívá se zde vlastností při zapojení vinutí do hvězdy a následného přepojení do trojúhelníku. Tímto jednoduchým způsobem lze dle vztahu (2.10) snížit rozběhový proud i moment na 1/3. Tuto metodu spouštění lze však použít jen u motorů se štiťkovým napětím 690/400 V [14].

2.3.3 Softstartér

Softstartér patří mezi střídavé statické měniče a slouží opět ke zmenšení statorového napětí. Skládá se nejčastěji ze dvou antiparalelně zapojených tyristorů, z nichž každý ovládá jednu půlperiodu (polaritu) sinusového napětí. Napájecí napětí pro vinutí motoru je po nastavitelnou dobu postupně zvyšováno od zvolené počáteční hodnoty do 100% napájecího napětí, přičemž při jeho dosažení je možno tyristory přemostit. Moment motoru je zde úměrný kvadrátu napětí $M \approx U^2$ [4].

2.3.4 Frekvenční měnič

Frekvenční měnič je moderní elektronické zařízení umožňující nejen bezproblémové spouštění třífázových motorů. Střídavé napájecí napětí je nejdříve převedeno na stejnosměrné (usměrněním, filtrováním) a poté IGBT tranzistory, řízenými PWM signálem, zpět na střídavé napětí s proměnnou velikostí a frekvencí [4]. Na základě vztahu (2.3) lze tedy navíc měnit i otáčky asynchronního motoru.

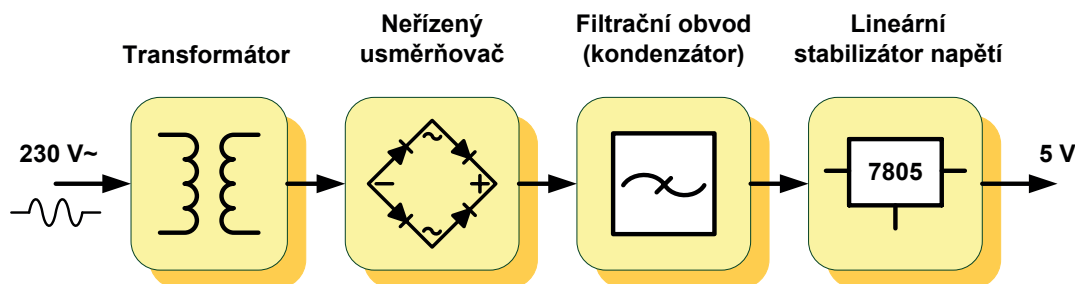
3 NÁVRH ČASOVÉHO SPÍNAČE

3.1 Napájecí zdroj

Napájecí zdroj je nedílnou součástí každého elektronického zařízení, ať už je zdrojem akumulátor, sluneční záření, . . . , či jako v našem případě přímo elektrická síť. V dnešní době je možno síťové napájecí zdroje řešit několika základními způsoby:

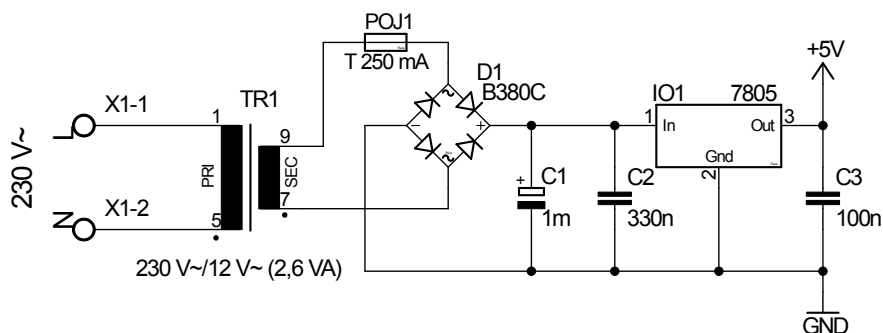
1. **Neřízené usměrňovače (AC/DC měniče)** – slouží pro přeměnu střídavého sinusového napětí na stejnosměrné, respektive na střední hodnotu jeho usměrněného průběhu. S nesetrvácnou zátěží je výstupní napětí tvořeno velkým počtem harmonických složek. Z tohoto důvodu se neřízený usměrňovač používá v kombinaci s kapacitní zátěží – filtračním kondenzátorem. Takovéto zapojení se navíc z důvodu potlačení tepavého napětí, vzniklého právě filtrací průběhu kondenzátorem, často doplňuje o výstupní stabilizátor napětí.
2. **Řízené usměrňovače (AC/DC měniče)** – vzniknou záměnou některých (nebo i všech) usměrňovacích diod v zapojení neřízeného usměrňovače za řízené prvky – nejčastěji se jedná o tyristory. Při spínání aktivních prvků v okamžicích odlišných od průchodu sinusového průběhu nulou je nevýhodou tohoto zapojení neharmonický průběh odebíraného proudu a s tím spojené rušení okolních přístrojů v síti.
3. **DC/DC měniče** – dnes zřejmě nejpoužívanější druh napájecích zdrojů. Vyznačují se vysokou účinností a díky relativně vysokým spínacím kmitočtům i malými rozměry. Jejich vstupní obvod je tvořen zmíněným neřízeným usměrňovačem. Používají se v několika modifikacích, jako jsou např. snižující (step-down, buck) a zvyšující měnič (step-up, boost), měnič s transformátorem a bez transformátoru, můstkové měniče, . . .

Pro navrhovaný napájecí zdroj byla vybrána jednoduchá varianta s neřízeným usměrňovačem, která je z důvodu galvanického oddělení a snížení velikosti napětí doplněna o hermeticky uzavřený transformátor viz blokové schéma na obr. 3.1.



Obr. 3.1: Blokové schéma napájecího zdroje.

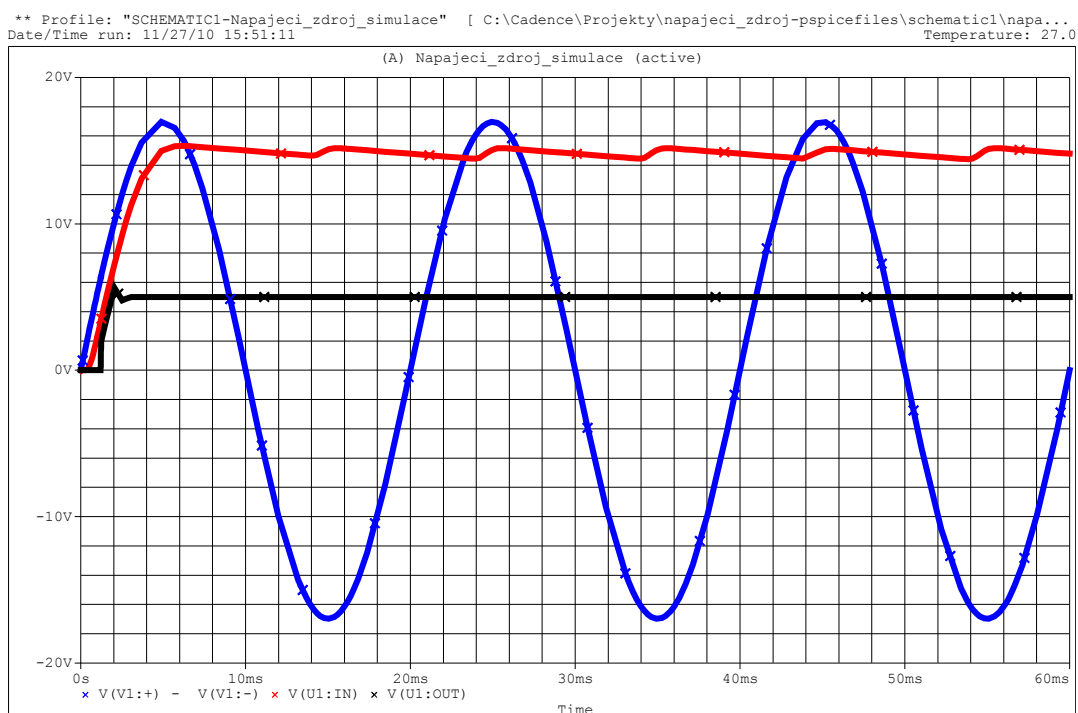
Skutečné obvodové zapojení navrženého napájecího zdroje je na obr. 3.2.



Obr. 3.2: Napájecí zdroj pro navrhovaný spínač.

Střídavé napájecí napětí z elektrické sítě je nejprve převedeno transformátorem **TR1** v poměru 230 V/12 V (modrý průběh na obr. 3.3). Z důvodu ochrany je do napájecí cesty vložena pomalá (typ T) trubičková pojistka **POJ1** o jmenovité hodnotě 250 mA. Dále následuje usměrňovací můstek – Graetzův usměrňovač **D1** v pouzdře DIL a filtrační elektrolytický kondenzátor **C1**.

Takto usměrněné a filtrované napětí (červený průběh na obr. 3.3) je přivedeno na lineární stabilizátor **IO1** s výstupním napětím 5 V – typ 7805 (černý průběh na obr. 3.3). Blokovací kondenzátory **C2** a **C3**, respektive jejich hodnoty, jsou zvoleny dle doporučení výrobce stabilizátoru [16].



Obr. 3.3: Průběhy napětí napájecího zdroje při simulaci programem PSpice.

3.2 Řídicí obvod časového spínače

Srdcem navrhovaného časového spínače je mikrokontrolér, který je doplněn o podpůrné a ovládací obvody. Na trhu je mnoho firem zabývajících se výrobou různých mikrokontrolérů, z nichž asi nejznámějšími jsou Atmel, Microchip a Freescale. Velice dostupné a hojně rozšířené jsou mikrokontroléry z rodiny AVR firmy Atmel, která pro ně na svých webových stránkách nabízí zcela zdarma i vývojové prostředí AVR Studio v nejnovější verzi 5.

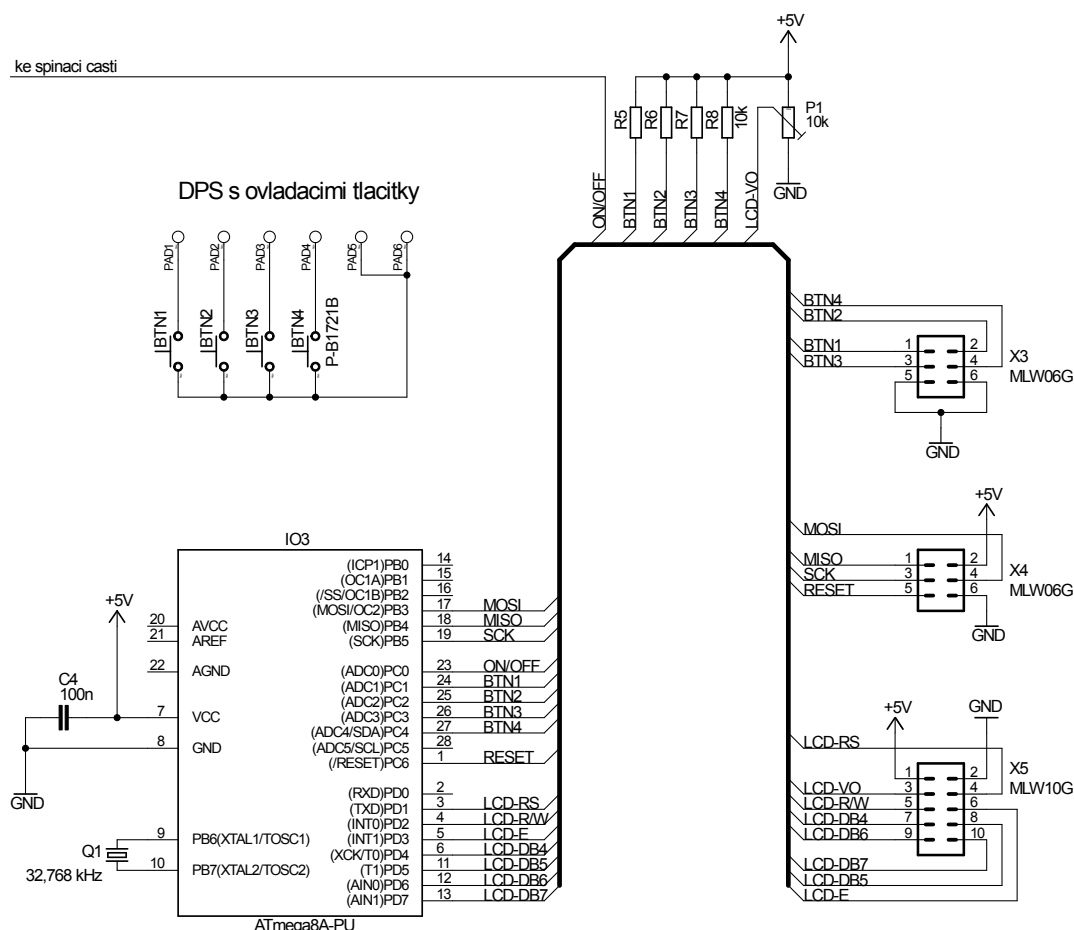
Rodina mikrokontrolérů AVR obsahuje několik řad, zde jsou uvedeny pouze tři:

1. **AVR XMEGA** – tato řada se může pochlubit možností nízkého napájecího napětí 1,8 V, 12-bitovým A/D a D/A převodníkem, vylepšenou technologií nízké spotřeby picoPower 2. generace a několika kanály DMA.
2. **megaAVR** – umožňuje připojení většího počtu periférií než jiné řady, většina typů má integrovány hojně využívané prvky jako jsou EEPROM, SPI, TWI, USART, některé modely dokonce USB, CAN a LIN.
3. **tinyAVR** – dosahuje malých rozměrů, nízké ceny a při doplnění o zvyšující měnič je možno několik typů napájet napětím pouze 0,7 V.



Obr. 3.4: Různé typy pouzder mikrokontrolérů firmy Atmel [18].

Pro konstrukci řídicího obvodu byl vybrán konkrétní typ ATmega8A z rozmanité řady megaAVR v pouzdře DIP, vyznačující se dostatečným počtem vstupně/výstupních portů, pokrývajících všechna potřebná propojení se vnějšími obvody.



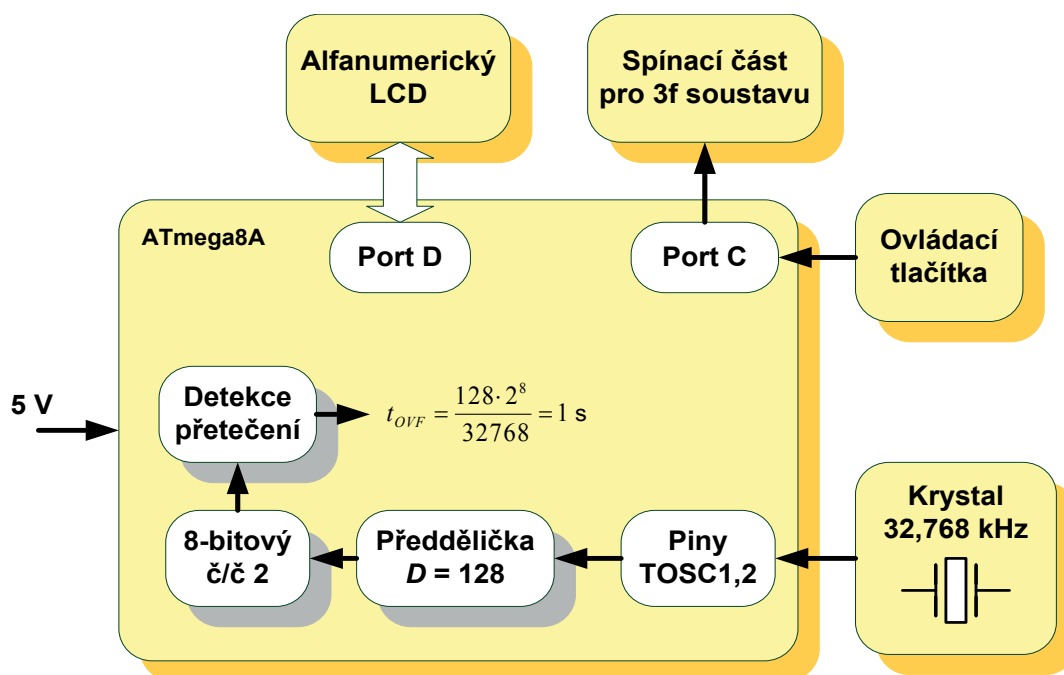
Obr. 3.5: Řídící obvod navrhovaného časového spínače.

Napájecí napětí mikrokontroléru je, s ohledem na velikost nap. napětí LCD, zvoleno 5 V (napájecí zdroj viz předchozí podkapitola). Napájení je přímo u mikrokontroléru blokováno keramickým kondenzátorem **C4** o běžně používané hodnotě 100 nF.

Ovládací obvod je tvořen pull-up rezistory **R5-R8** o hodnotě 10 k Ω a mikrospínači **BTN1-BTN4**. Mikrospínače jsou umístěny na vlastní desce plošných spojů (DPS), propojenou plochým kabelem a konektorem **X3** s deskou navrženého spínače. Důvodem volby takového provedení je především nezávislá manipulace a umístění obou desek plošných spojů. Princip rozpoznání stisku tlačítka je následující: v klidovém stavu je na příslušných pinech mikrokontroléru (díky pull-up rezistorům) vysoká úroveň H, stisknutím tlačítka se pak na pinu objeví nízká úroveň L, která je softwarově testována.

Výstupním zobrazovacím prvkem, jak již bylo v práci několikrát zmíněno, je modul alfanumerického displeje. Modul LCD je již z výroby osazen na vlastní desce plošných spojů se všemi potřebnými obvody. Tím pádem jej lze jednoduše, ze stejných důvodů jako v případě mikrospínačů, propojit s deskou spínače plochým kabelem a konektorem **X5**. Jediný obvod, který není na modulu displeje umístěn, je obvod pro nastavení kontrastu. Kontrast LCD se nastavuje stejnosměrným napětím 0-5 V na příslušném pinu. Tento rozsah ovládacího napětí zabezpečuje trimr **P1**.

Mikrokontrolér je doplněn o externí hodinový krystal **Q1** s frekvencí 32,768 kHz, který společně s časovačem/čítačem 2 (č/č 2) umožňuje vytvořit funkci reálného času, označovanou jako RTC, jak naznačuje obr. 3.6.



Obr. 3.6: Zjednodušené blokové schéma řídicího obvodu.

Č/č 2 je 8-bitový s možností řízení synchronně vnitřním hodinovým kmitočtem mikrokontroléru, nebo asynchronně nezávislým externím krystalem na pinech TOSC1 a TOSC2, přičemž je oscilátor v tomto režimu uzpůsoben právě pro krystal o výše zmíněné frekvenci. K povolení asynchronního řízení – externího krystalu je třeba nastavit bit AS2 v registru ASSR [1].

Tab. 3.1: Asynchronous Status Register (ASSR).

7	6	5	4	3	2	1	0
–	–	–	–	AS2	TCN2UB	OCR2UB	TCR2UB

Takto vytvořený kmitočet lze snížit předděličkou (angl. prescaler). Zvolená hodnota předděličky se poté nastaví odpovídající kombinací bitů CS22, CS21 a CS20 v registru TCCR2 [1].

Tab. 3.2: Timer/Counter Control Register 2 (TCCR2).

7	6	5	4	3	2	1	0
FOC2	WGM20	COM21	COM20	WGM21	CS22	CS21	CS20

Tab. 3.3: Nastavení bitů pro dělicí poměr předděličky.

CS22	CS21	CS20	Nastavený dělicí poměr
0	0	0	Odpojení hodinového signálu.
0	0	1	1/1 ($D = 1$, bez předděličky).
0	1	0	1/8 ($D = 8$).
0	1	1	1/32 ($D = 32$).
1	0	0	1/64 ($D = 64$).
1	0	1	1/128 ($D = 128$).
1	1	0	1/256 ($D = 256$).
1	1	1	1/1024 ($D = 1024$).

Doba přetečení č/č 2 je v závislosti na počtu bitů čítače b , nastavené hodnotě předděličky D a frekvenci hodinového krystalu dána vztahem

$$t_{ovf} = \frac{2^b \cdot D}{32768}. \quad (3.1)$$

Pro využití opakujícího se přetečení 8-bitového č/č 2 jako zdroje reálného času potřebujeme dobu přetečení rovnu 1 s. To odpovídá hodnotě předděličky

$$D = \frac{t_{ovf} \cdot 32768}{2^b} = \frac{1 \cdot 32768}{2^8} = \frac{32768}{256} = 128. \quad (3.2)$$

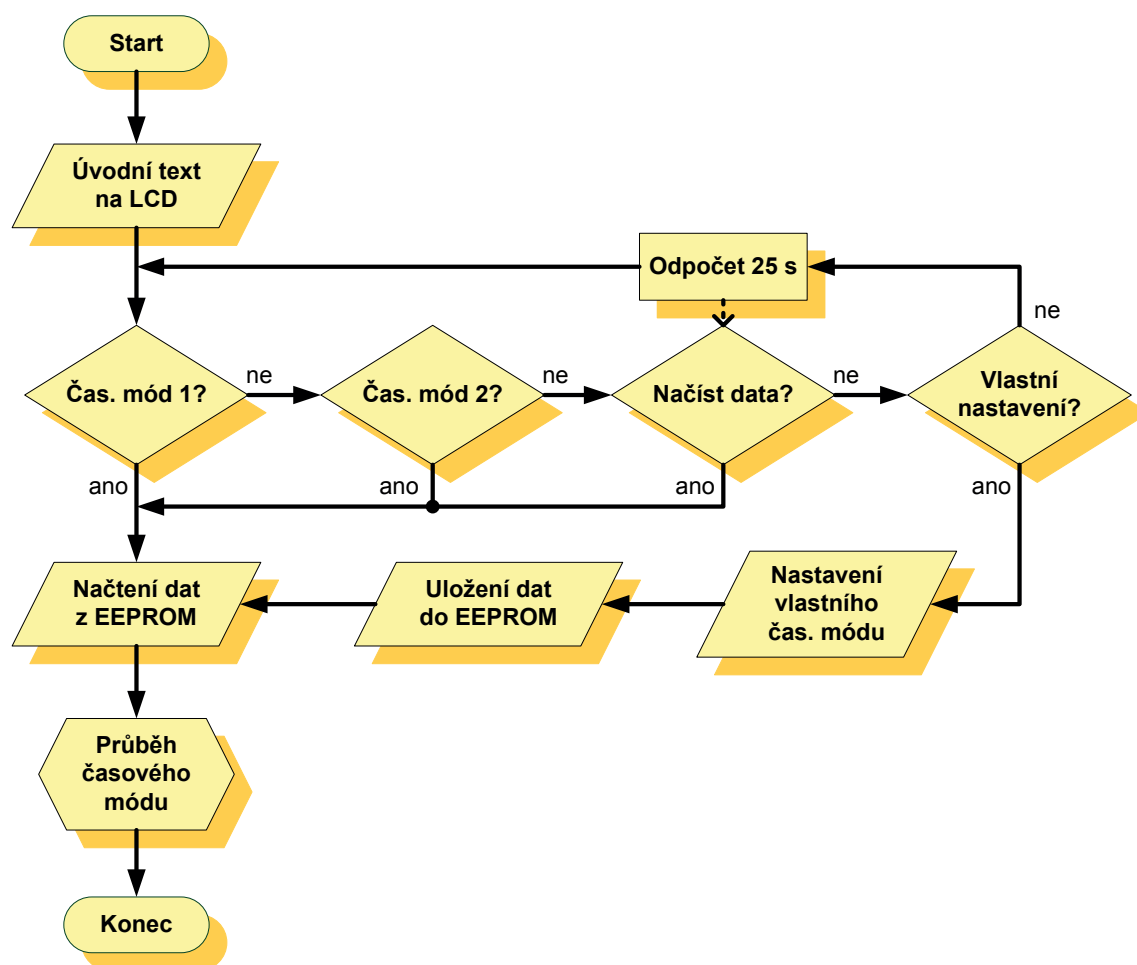
Potřebné povolení přerušení při přetečení č/č 2 se provede nastavením bitu TOIE2 v registru TIMSK [1].

Tab. 3.4: Timer/Counter Interrupt Mask Register (TIMSK).

7	6	5	4	3	2	1	0
OCIE2	TOIE2	TICIE1	OCIE1A	OCIE1B	TOIE1	–	TOIE0

Programování mikrokontroléru, pro prvotní naprogramování a případné změny řídicího programu, je realizováno pomocí sériového rozhraní (SPI) s využitím výhodné metody programování již osazených součástek na desce (ISP). K programování tímto způsobem se využívají piny $\overline{\text{RESET}}$ (ovládání resetování mikrokontroléru), SCK (synchronizace přenosu dat) a piny pro samotnou sériovou komunikaci MISO a MOSI [1]. Součástí konektoru **X4** je kromě těchto čtyř jmenovaných pinů navíc i napájení +5 V a GND. Výsledkem je možnost napájet celou aplikaci přímo programátorem, nikoli tedy sestaveným napájecím zdrojem. Naopak může samozřejmě napájecí zdroj sloužit pro sestavený spínač a zároveň i jako zdroj pro programátor.

Nástin funkce řídicího programu mikrokontroléru je zachycen ve zjednodušeném vývojovém diagramu na obr. 3.7.



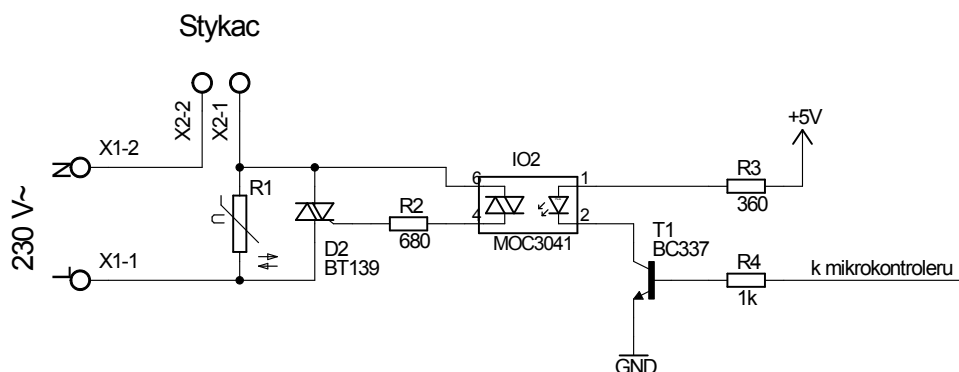
Obr. 3.7: Zjednodušený vývojový diagram řídicího programu.

Na samém počátku programu se nejdříve načtou potřebné knihovny a deklarují se využívané globální proměnné. Dále jsou inicializovány všechny používané periférie a následně se na LCD zobrazí úvodní text. Poté se program ocitne ve smyčce menu, kde je pro uživatele připraven výběr ze 4 možností – použití předem předdefinovaných čas. módu 1 nebo 2, načtení naposledy použitého módu, který se vždy automaticky ukládá do vnitřní paměti mikrokontroléru a možnost nastavení vlastního čas. módu. Pokud nedojde do cca 25 s ke stisku žádného z ovládacích tlačítek, je programem automaticky vybrána možnost načtení dat z paměti EEPROM.

Každý časový mód, ať již předdefinovaný nebo uživatelský, má nastaven počet opakování. Průběh každého módu je tedy omezen horní hranicí cyklu *for()*. Po jejím překročení program tento cyklus opustí a „zacyklí“ se v ukončovací nekonečné smyčce *while()*. Pro obnovení průběhu programu je tedy nutný „restart“ zařízení odpojením a znovuzapojením napájení.

3.3 Spínací část pro třífázovou soustavu

Zařízení nebude spínat motor velkého výkonu (nad cca 4 kW), kde by mohlo vlivem velkého rozběhového proudu I_A docházet k nadměrnému zatěžování elektrické sítě a následnému přerušení obvodu jističem. Proto bude motor spouštěn přímým připojením k síti (DOL) s použitím elektromechanického stykače jako spínacího prvku.



Obr. 3.8: Spínací část pro třífázovou soustavu.

Jako ovládací obvod cívky stykače je v podstatě z diskretních prvků navrženo polovodičové relé (SSR) se spínáním v nule – nezpůsobuje tedy impulsní rušení. Důvodem návrhu takového zapojení je možnost spínání cívky stykače přímo síťovým napětím, jelikož právě na toto ovládací napětí lze stykač nejsnáze zakoupit. SSR je složeno, jak již bylo naznačeno v části věnované spínacím prvkům, z výkonového polovodičového spínacího prvku (triak **D2**), jež je v tomto případě ovládán pomocným optotriakem **IO2**. Takovéto zapojení nejen, že kompenzuje menší ztrátový výkon optotriaku, ale navíc zabezpečuje zmiňované galvanické oddělení řídicích prvků od prvků spínacích. Varistor **R1** chrání triak před zničením v důsledku vzrůstu napětí cívky stykače při jeho vypnutí.

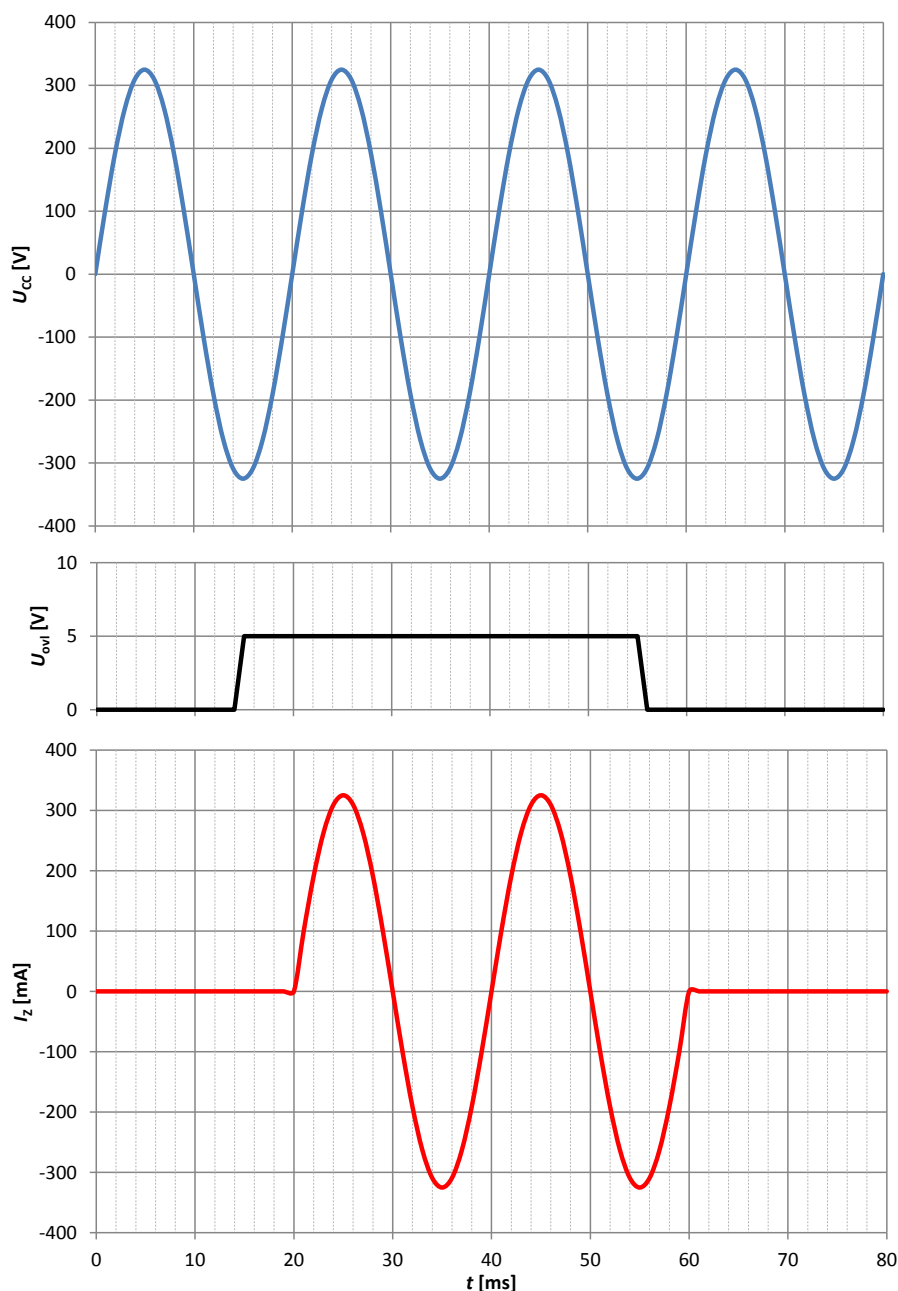
Luminiscenční dioda optotriaku má dle datasheetu [3] prahové napětí 1,2 V při proudu 10 mA. Ohmovým zákonem jednoduše dojdeme ke zvolené hodnotě rezistoru **R3**. Při zanedbání saturačního napětí tranzistoru **T1** lze psát

$$R = \frac{U}{I} = \frac{5 - 1,2}{10 \cdot 10^{-3}} = 380 \, \Omega, \quad (3.3)$$

proto byla z dostupné řady zvolena hodnota 360 Ω . Samotná LED je pak ovládána, za pomoci ochranného rezistoru **R4** a tranzistoru ve funkci spínače, logickou úrovní na výstupním pinu mikrokontroléru.

Na ideovém obr. 3.9 jsou naznačeny možné průběhy napětí a proudu spínací části pro ovládání cívky stykače. Vstupní napájecí napětí U_{CC} (modrý průběh) je přivedeno na již zmiňovanou podobu polovodičového relé se spínáním v nule. Ovládací napětí U_{ovl} z mikrokontroléru (černý průběh) řídí dobu sepnutí výstupního triaku.

Při použití optotriaku s okamžitým spínáním by výstupní triak spínal okamžitě po přivedení logické úrovně H. To by samozřejmě vedlo k nežádoucímu rušení, což je v mnoha ohledech nepřijatelné. Řešením je použití optotriaku s pomocným obvodem pro detekování okamžiku průchodu střídavého sinusového signálu nulou. Ten zabezpečí sepnutí triaku – proudu do cívky stykače I_Z (červený průběh) jen v takto rozpoznaném okamžiku.



Obr. 3.9: Průběhy napětí a proudu spínací části pro 3f soustavu.

4 ZÁVĚR

Úvodní kapitola práce se zabývá funkčními bloky časových spínačů, čímž jsou bezesporu různé modifikace monostabilních klopných obvodů a čítačů. Každá z nich má svoje klady i zápory, jež jsou zřetelně popsány v příslušné části kapitoly. Na konci kapitoly je pak zmíněna možnost elegantního řešení s využitím dnes běžně dostupného mikrokontroléru, které je zároveň, s ohledem na požadavky zadání, vybráno pro návrh zařízení.

Druhá kapitola se věnuje problematice spínané zátěže – třífázovému asynchronnímu motoru. S touto problematikou jsou spojeny možné spínací prvky pro třífázovou soustavu a také možnosti spouštění těchto motorů.

Poslední kapitola uvádí samotný návrh časového spínače. Obsahuje návrh napájecího zdroje pro celé zařízení, řídicího bloku časového spínače realizovaného pomocí mikrokontroléru (včetně stručného popisu řídicího programu) a spínací části pro třífázovou soustavu.

Zařízení bude napájeno přímo z elektrické sítě. Napájecí zdroj je tvořen hermeticky uzavřeným transformátorem, neřízeným usměrňovačem s kapacitní zátěží a lineárním stabilizátorem napětí. Pro řídicí obvod byl vybrán zcela dostačující mikrokontrolér ATmega8A firmy Atmel, který je doplněn o externí hodinový krystal s frekvencí 32,768 kHz, nutný pro funkci reálného času. Spínací část je pak navržena pro použití třífázového stykače (jako výkonového spínacího prvku) s ovládací cívkou na střídavé napětí 230 V. Zobrazovací modul LCD a ovládací tlačítka jsou umístěny na vlastních DPS, spojenými plochými kabely a konektory s deskou navrženého spínače. Konektor, označený jako ISP, slouží pro prvotní naprogramování a případné změny v řídicím programu mikrokontroléru.

Možnou nevýhodou této konstrukce je nemožnost dlouhodobějšího plánování pomocí datumu a skutečného času, což by s sebou přineslo řadu problémů – především potřebu nastavené datum a čas zálohovat v případě výpadku napájení. To však již překračuje zadání této práce a pro daný účel zařízení je to zbytečné.

Obsahem příloh na konci práce je výrobní dokumentace zahrnující celkové schéma zapojení, návrh desek plošných spojů a seznam potřebných součástek. Poslední součástí příloh je jednoduchý, avšak plnohodnotný návod na obsluhu zařízení.

LITERATURA

- [1] Atmel Corporation. *AVR 8-bit ATmega8A* [online]. 7.7.2009 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z URL: <http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc8159.pdf>.
- [2] Atmel Corporation. *Atmel Products – AVR Solutions – ATmega8A* [online]. 23.11.2010 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z URL: <http://www.atmel.com/dyn/products/product_card.asp?part_id=4585>.
- [3] Cosmo Electronics Corporation. *Photo Coupler For Triac output KMOC3041* [online]. 23.3.2004 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z URL: <<http://www.cosmo-ic.com/object/products/KMOC3041.pdf>>.
- [4] Eaton Industries GmbH. *Starting and control of three-phase asynchronous motors* [online]. 4/2010 [cit. 2010-10-02]. Dostupné z URL: <http://www.moeller.net/binary/ver_techpapers/ver968en.pdf>.
- [5] FRÝZA, T., FEDRA, Z., ŠEBESTA, J., ZELINKA, P. *Mikroprocesorová technika. Počítačová cvičení* [Elektronické skriptum VUT v Brně]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 79 s.
- [6] FRÝZA, T., FLEURY, P. *Knihovna pro komunikaci s LCD* [online]. 2.10.2010 [cit. 2010-10-02]. Dostupné z URL: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/fryza/downloads/lcd_knihovna.zip>.
- [7] Fujitsu Takamisawa Component Ltd. *Technické informace o relé* [online]. 31.10.2002 [cit. 2010-10-25]. Dostupné z URL: <<http://www.ryston.cz/pdf/fujitsu-takamisawa/techinfo.pdf>>.
- [8] JENKINS, J. D. *John Jenkins SparkMuseum* [online]. 3.1.2007 [cit. 2010-10-06]. Dostupné z URL: <<http://www.sparkmuseum.com/MOTORS.HTM>>.
- [9] KOLOUCH, J., BIOLKOVÁ, V. *Impulzová a číslicová technika* [Skriptum VUT v Brně]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 187 s.
- [10] KURKA, M. *Jaký je rozdíl mezi stykačem a relé?* [online]. 4.4.2008 [cit. 2010-10-25]. Dostupné z URL: <<http://diskuse.elektrika.cz/index.php?topic=7944.15>>.
- [11] Moeller GmbH. *Příručka zapojení Moeller* [online]. 11/2008 [cit. 2010-10-02]. Dostupné z URL: <http://www.moeller.net/binary/schabu/wiring_man_cz.pdf>.

- [12] NOVOTNÝ, V., PATOČKA, M., VOREL, P. *Napájení elektronických zařízení* [Skriptum VUT v Brně]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. 139 s.
- [13] Omron Industrial Automation. *Soft-start/stop Solid State Contactors G3J-T* [online]. 2.10.2010 [cit. 2010-10-25]. Dostupné z URL: <http://www.ia.omron.com/data_pdf/data_sheet/g3j-t_dsheetsheet_csm157.pdf>.
- [14] ROUBÍČEK, O. *Řízení chodu motorů – Spouštění* [online]. 11.9.2008 [cit. 2010-10-06]. Dostupné z URL: <<http://elektrika.cz/data/clanky/řízení-chodu-motoru>>.
- [15] STEINBAUER, M. *Elektrotechnika 2. (přednáška)* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 23.3.2009.
- [16] STMicroelectronics. *Positive voltage regulators L78XX* [online]. 8.9.2010 [cit. 2010-11-23]. Dostupné z URL: <http://www.st.com/stonline/stappl/resourceSelector/app?page=fullResourceSelector&doctype=TECHNICAL_LITERATURE>.
- [17] VYSOKÝ, O. *Elektronické systémy II* [Skriptum ČVUT v Praze]. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, 1997.
- [18] Wordpress. *Mikrokontroler Atmel* [online]. 5/2011 [cit. 2011-05-12]. Dostupné z URL: <<http://atelmikrokontroler.files.wordpress.com/2009/06/mikrokontroler.jpg>>.

SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

ASSR	A synchronous S tatus R egister
b	počet stupňů (bitů) čítače
č/č 2	časovač/čítač 2
D	hodnota předděličky
DOL	D irect- o n-line – přímé připojení k síti
DPS	d eska p lošných spojů
f	frekvence, kmitočet [Hz]
I_A	rozběhový proud [A]
I_f	fázový proud [A]
I_{fY}	fázový proud při zapojení motoru do hvězdy [A]
$I_{f\Delta}$	fázový proud při zapojení motoru do trojúhelníku [A]
IGBT	I nsulated G ate B ipolar T ransistor – bipolární tranzistor s izolovaným hradlem
I_N	jmenovitý proud [A]
ISP	I n- S ystem P rogramming – metoda programování již osazených součástek
I_S	sdružený proud [A]
I_Z	proud zátěží [A]
KO	k lopný o bvod
LCD	L iquid C ystal D isplay – displej z tekutých krystalů
M_A	rozběhový moment [Nm]
M_K	moment zvratu [Nm]
MKO	m onostabilní k lopný o bvod
M_N	jmenovitý moment [Nm]
M_S	sedlový moment [Nm]
n	otáčky [min^{-1}]

n_N	jmenovité otáčky [min^{-1}]
n_s	synchrónní otáčky točivého pole [min^{-1}]
p	počet pólových párů
PWM	P ulse W idth M odulation – pulsně šířková modulace
RTC	R eal T ime C ounter – obvod reálného času
s	skluz asynchronního motoru [-]
SPI	S erial P eripheral I nterface – sériové komunikační rozhraní
SSR	S olid S tate R elay – polovodičové relé
S_Y	komplexní výkon motoru při zapojení do hvězdy [VA]
S_Δ	komplexní výkon motoru při zapojení do trojúhelníku [VA]
t	čas [s]
TCCR2	T imer/ C ounter C ontrol R egister 2
TIMSK	T imer/ C ounter I nterrupt M ask Register
U_{CC}	napájecí napětí [V]
U_f	fázové napětí [V]
U_{ovl}	ovládací napětí [V]
U_S	sdružené napětí [V]
U_Z	napětí na zátěži [V]
Z	impedance [Ω]
τ	časová konstanta [s]